



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

Desarrollo de herramientas software para facilitar la gestión de la demanda de energía eléctrica: aplicación a usuarios residenciales

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

Autor: Alejandro Marín Parra
Director: Antonio Gabaldón Marín

Cartagena, Septiembre de 2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Desarrollo de herramientas software para facilitar la gestión de la demanda de energía eléctrica: aplicación a usuarios residenciales

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Autor: Alejandro Marín Parra
Director: Antonio Gabaldón Marín

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 ENERGÍAS RENOVABLES	1
1.2 VARIABILIDAD EN LA PRODUCCIÓN	4
1.3 RESPUESTA DE LA DEMANDA.....	6
1.4 IMPORTANCIA DEL SECTOR RESIDENCIAL.....	13
1.5 PROGRAMAS DE PRECIO DINÁMICO.....	15
1.6 SMART METERS Y TECNOLOGÍAS CATALIZADORAS (ENABLING TECHNOLOGIES).....	17
CAPÍTULO 2: AUTOMATIZACIÓN EN EL SECTOR RESIDENCIAL	21
2.1 SITUACIÓN ACTUAL Y POSIBILIDADES.....	21
2.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN RESIDENCIAL.....	23
CAPÍTULO 3: SOFTWARE Y HARDWARE CENTRAL DE COMUNICACIÓN.....	26
3.1 HARDWARE DEL SISTEMA DE CONTROL ENERGÉTICO.....	26
3.2 SOFTWARE DEL SISTEMA DE CONTROL ENERGÉTICO.....	27
CAPÍTULO 4: PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN DE UNA RED RESIDENCIAL	31
4.1 EL MODELO OSI	31
4.2 PROTOCOLOS INALÁMBRICOS	36
4.2.1 Z-WAVE.....	36
4.2.2 ZIGBEE	37
4.2.3 ENOCEAN.....	40
4.2.4 INSTEON	42
4.4.5 WI-FI	43
4.2.6 BLUETOOTH SMART	44
4.2.7 RESUMEN Y PROTOCOLOS UTILIZADOS	46
CAPÍTULO 5: SISTEMAS DE MEDICIÓN (ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE, AMI).....	48
5.1 INSTALACIÓN DE CONTADOR PROPIETARIO TRIFÁSICO EN CUADRO ELÉCTRICO	48
5.1.1 LECTURA DE LA POTENCIA CONSUMIDA Y TEMPERATURA	50
5.1.2 PROGRAMACIÓN DE LA PLACA ARDUINO UNO	54

5.1.3 COMUNICACIÓN AL PC.....	59
5.2 INSTALACIÓN DE CONTADOR PROPIETARIO MONOFÁSICO EN CUADRO ELÉCTRICO	69
5.3 OBTENCIÓN DEL CONSUMO DEL CONTADOR INTELIGENTE.....	73
5.4 INSTALACIÓN DE CONTADOR PROPIETARIO Z-WAVE EN CUADRO ELÉCTRICO.....	76
5.4.1 CONTADOR Z-WAVE HOME ENERGY METER	76
5.4.2 RECEPTOR USB Z-STICK	77
5.4.3 INTEGRACIÓN EN IP-SYMCON.....	78
CAPÍTULO 6: SISTEMAS DE ACTUACIÓN SOBRE CARGAS RESIDENCIALES.....	81
6.1 ANÁLISIS DE CARGAS EN EL SECTOR RESIDENCIAL	81
6.2 ANÁLISIS DE CARGAS CONTROLABLES AL SERVICIO DE PROGRAMAS DE RESPUESTA DE LA DEMANDA	85
6.2.1 ILUMINACIÓN.....	86
6.2.2 FRIGORÍFICO-CONGELADOR.....	87
6.2.3 LAVADORA.....	88
6.2.4 LAVAVAJILLAS.....	89
6.2.5 TELEVISIÓN.....	90
6.2.6 TERMO PARA AGUA CALIENTE SANITARIA.....	91
6.2.7 CALEFACCIÓN	93
6.2.8 AIRE ACONDICIONADO.....	94
6.2.9 OTRAS CARGAS.....	98
6.2.10 CARGAS A CONSIDERAR POR EL SISTEMA DE CONTROL ENERGÉTICO	99
6.3 PROTOCOLO FS20 PARA EL CONTROL DE CARGAS	101
6.3.1 DISPOSITIVOS FS20.....	102
6.3.2 INTEGRACIÓN EN IP-SYMCON.....	103
CAPÍTULO 7: DATOS DE ENTRADA AL SISTEMA DE CONTROL ENERGÉTICO.....	105
7.1 SEÑALES DE CONTROL DE PROGRAMAS DE RESPUESTA DE LA DEMANDA.....	106
7.1.1 SEÑALES DE PRECIOS DINÁMICOS	106
7.1.1 SEÑALES DE PERIODOS CRÍTICOS (EVENTOS).....	115

7.2 POTENCIA EN TIEMPO REAL.....	116
7.2.1 ALMACENAMIENTO DE DATOS DE POTENCIA COMPLETOS	116
7.2.2 ALMACENAMIENTO DE POTENCIA EN INTERVALOS HORARIOS	117
7.2.3 ALMACENAMIENTO DE POTENCIA CADA 15 MINUTOS.....	119
7.3 DATOS METEOROLÓGICOS.....	119
7.4 ESTADO DE CARGAS	121
7.5 CONFIGURACIÓN.....	124
CAPÍTULO 8: DATOS DE SALIDA DEL SISTEMA DE CONTROL ENERGÉTICO.....	128
8.1 ACTUACIÓN SOBRE CARGAS	128
8.1.1 ACTUACIÓN ANTE SEÑAL DE EVENTO.....	129
8.1.2 ACTUACIÓN ANTE SEÑAL DE PRECIO	130
8.2 INTERFAZ WEB.....	135
8.2.1 CONSUMO ACTUAL	135
8.2.2 PRECIOS ACTUALES Y PREVISIÓN	147
8.2.3 DESCARGA DE DATOS.....	150
8.2.4 CONSEJOS.....	152
8.2.5 COMUNICACIÓN DE LA INTERFAZ WEB	159
CAPÍTULO 9: AMPLIACIONES, ANÁLISIS DE DATOS, CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....	163
9.1 AMPLIACIONES.....	163
9.2 ANÁLISIS DE DATOS.....	170
9.2.1 MODALIDADES DE PRECIO	170
9.2.2 CONTROL DEL AIRE ACONDICIONADO	170
9.2.3 ESTUDIO DE LOS RESULTADOS DEL MODELO TÉRMICO CON PRECIOS REALES	172
9.2.4 ERRORES DE PREVISIÓN	173
9.3 CONCLUSIONES	175
9.4 LÍNEAS FUTURAS	176
BIBLIOGRAFÍA.....	178

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Evolución del consumo eléctrico mundial. Fuente [2]	1
Figura 2. Evolución de la generación de energía renovable en 8 escenarios. Fuente [3]	2
Figura 3. Evolución de la generación de energía renovable por tipo. Fuente [3]	2
Figura 4. Potencia eólica instalada en España entre 1998 y 2013. Fuente [4]	3
Figura 5. Energía adquirida en régimen especial en España entre 2009 y 2013. Fuente [5]	3
Figura 6. Variabilidad de la potencia neta generada debida a fuentes renovables en California. Fuente [6]	4
Figura 7. Variabilidad de producción eólica en un mes, California. Fuente [7]	5
Figura 8. Costes del almacenamiento de energía eléctrica y de programas de respuesta de la demanda. Fuente [9]	6
Figura 9. Curva de demanda en España en los días de máximo consumo entre 2009 y 2013. Fuente [5]	7
Figura 10. Cambios en la curva de demanda. Fuente [10]	8
Figura 11. Clasificación de los programas de respuesta de la demanda. Fuente [11]	8
Figura 12. Beneficios y costes en la aplicación de programas de respuesta en una empresa, California. Fuente [13]	9
Figura 13. Mapa de la actividad de respuesta de la demanda en Europa, 2013-2014. Fuente [12]	10
Figura 14. Calificación por países europeos en programas de respuesta de la demanda, 2013- 2014. Fuente [12]	11
Figura 15. Tendencia en USA en la aplicación de programas de respuesta de la demanda. Fuente [15]	12
Figura 16. Distribución de programas de respuesta de la demanda en USA, 2010. Fuente [16]	12
Figura 17. Distribución de programas de respuesta de la demanda en USA, 2012. Fuente [15]	13
Figura 18. Participantes según sector en programas de respuesta de la demanda, USA. Fuente [15]	14
Figura 19. Consumo energético en hogares españoles, 1980-2009. Fuente [18]	15
Figura 20. Reducción del pico de consumo según programas, USA. Fuente [21]	16
Figura 21. Evolución de la potencial de recompensa económica frente a la variabilidad de precio. Fuente [23]	17
Figura 22. Contadores inteligentes instalados en USA, 2006-2012. Fuente [15]	18
Figura 23. Reducción del pico de demanda según diferentes tarifas de precio dinámico, 2009. Fuente [29]	19

Figura 24. Tabla de resultados de observaciones sobre diferentes programas de precio dinámico. Fuente [29]	20
Figura 25. Reducción del pico de demanda según diferentes tarifas de precio dinámico, 2011. Fuente [23]	20
Figura 26. Modelo de envío de datos en sector residencial. Fuente [30]	22
Figura 27. Estructura de un sistema de automatización residencial. Fuente [32]	25
Figura 28. Entradas y salidas del PC.	27
Figura 29. Logo IP-Symcon	27
Figura 30. IP-Symcon: Pantalla de inicio.....	28
Figura 31. IP-Symcon: Ejecución automática de scripts.....	28
Figura 32. Niveles del modelo OSI.....	32
Figura 33. Comunicación entre dos sistemas según modelo OSI.....	33
Figura 34. Modelo de comunicación en termostato.....	34
Figura 35. Clasificación de los protocolos de comunicación residenciales.	35
Figura 36. Logos Z-Wave y Z-Wave Alliance	36
Figura 37. Logos ZigBee y ZigBee Alliance.....	37
Figura 38. Capas del estándar ZigBee. Fuente [42]	38
Figura 39. Topologías de la red ZigBee. Fuente [42]	40
Figura 40. Logos EnOcean y EnOcean Alliance.....	41
Figura 41. Fiabilidad de la transmisión con protocolo EnOcean. Fuente [46]	41
Figura 42. Logo INSTEON.....	42
Figura 43. Topología de red INSTEON. Fuente [48]	42
Figura 44. Logos Wi-Fi y Wi-Fi Alliance.....	43
Figura 45. Comparación del consumo de diferentes protocolos. Fuente [50]	44
Figura 46. Logos Bluetooth Smart y Bluetooth Special Interest Group.....	44
Figura 47. Estados de operación en protocolo Bluetooth Smart. Fuente [53]	46
Figura 48. Contador trifásico Voltcraft.....	49
Figura 49. Conexiones del contador Voltcraft trifásico.....	49
Figura 50. Cuadro eléctrico	50
Figura 51. Conexiones de un contador trifásico. Fuente [57]	51
Figura 52. Placa Arduino UNO. Fuente [58]	52
Figura 53. Sensor LDR y conexión.	52
Figura 54. Sensor de temperatura LM335 y conexión. Fuente [59]	53
Figura 55. Conexiones en placa Arduino UNO.	54
Figura 56. Alimentación de la placa Arduino	57

Figura 57. Flujoograma del código implementado en la placa Arduino	58
Figura 58. Módulo XBee PRO Serie 2	60
Figura 59. Shield para la integración de la antena XBee	60
Figura 60. XBee Explorer USB.....	61
Figura 61. X-CTU: Selección de puerto USB y baudios	61
Figura 62. Identificadores de los módulos XBee	62
Figura 63. X-CTU: Configuración del firmware de los módulos XBee	63
Figura 64. IP-Symcon: Serial Port	64
Figura 65. IP-Symcon: Configuración de Serial Port.....	64
Figura 66. IP-Symcon: XBee Gateway.....	65
Figura 67. IP-Symcon: Register Variable	65
Figura 68. IP-Symcon: Formato de variable tipo string.....	65
Figura 69. IP-Symcon: Variable string XBee	66
Figura 70. IP-Symcon: Guardar datos en variable XBee.....	66
Figura 71. IP-Symcon: Datos guardados de forma separada	67
Figura 72. Instalación de medidor monofásico Voltcraft.....	70
Figura 73. Conexión de contador monofásico Voltcraft y forma de pulso eléctrico.	71
Figura 74. Batería recargable.....	74
Figura 75. Contador inteligente utilizado.....	74
Figura 76. Contador Z-Wave	76
Figura 77. Detalles de la instalación del contador Z-Wave	77
Figura 78. Contador Z-Wave en cuadro eléctrico	77
Figura 79. Receptor Z-Wave USB Z-Stick.....	78
Figura 80. IP-Symcon: Z-Wave Gateway.....	79
Figura 81. IP-Symcon: Z-Wave Configurator	79
Figura 82. IP-Symcon: Configuración de Serial Port.....	79
Figura 83. IP-Symcon: Detección de dispositivos Z-Wave.....	80
Figura 84. Consumo energético en el sector residencial. Fuente [18].....	81
Figura 85. Diferenciación del consumo residencial según zonas climáticas. Fuente [18]	83
Figura 86. Demanda máxima horaria y diaria en España. Fuente [5]	84
Figura 87. Variación diaria en el consumo según cargas. Fuente [70].....	84
Figura 88. Medidor de potencia Voltcraft Energy Logger 4000	85
Figura 89. Curva de potencia, frigorífico.....	87
Figura 90. Variación temporal de la potencia, frigorífico.....	88
Figura 91. Curva de potencia, lavadora.....	89

Figura 92. Curva de potencia, lavavajillas	90
Figura 93. Curva de potencia, televisión	91
Figura 94. Curva de potencia, termo para agua caliente sanitaria	92
Figura 95. Variación temporal de la potencia, termo	93
Figura 96. Curva de potencia, radiador	94
Figura 97. Cargas durante los picos de consumo, California. Fuente [73]	95
Figura 98. Curva de potencia, aire acondicionado	95
Figura 99. Transformada de Hilbert de la potencia total	96
Figura 100. Frecuencia de conexión del aire acondicionado	97
Figura 101. Amplitud de las potencias de la transformada de Hilbert	97
Figura 102. Curva de potencia, router	99
Figura 103. Curva de potencia, ordenador	99
Figura 104. Objetivos del control de la demanda. Fuente [75]	101
Figura 105. Controlador FS20 FHZ 1300 PC	102
Figura 106. Receptores FS20	103
Figura 107. IP-Symcon: FHZ 1300 PC	103
Figura 108. IP-Symcon: Configuración de la red FS20	104
Figura 109. Entradas del sistema de control energético	105
Figura 110. Tarifa Tempo, Francia. Fuente [81]	106
Figura 111. Término de facturación de energía activa del PVPC, 7-09-2014. Fuente REE	110
Figura 112. Curva de potencia, 28-05-2014	123
Figura 113. Frecuencia de conexión/desconexión del termo, 28-05-2014	123
Figura 114. Potencias activas normalizadas. Fuente [89]	124
Figura 115. Interfaz web, configuración	125
Figura 116. IP-Symcon: Variables de configuración	127
Figura 117. Salidas del sistema de control energético	128
Figura 118. IP-Symcon: Dispositivos FS20	130
Figura 119. Flujograma del control de cargas ante precios	134
Figura 120. Fondo de gráfica para consumo en tiempo real	138
Figura 121. Gráfica de potencia con intervalo de una hora	147
Figura 122. Gráfico término de energía, Highcharts	149
Figura 123. Interfaz web: Descarga de datos	152
Figura 124. Interfaz web: Precios según modalidad de PVPC	155
Figura 125. Interfaz web: Precios PVPC ordenados	156
Figura 126. Interfaz web: Potencia mínima a contratar	159

Figura 127. Comunicación de usuario con PC según modelo OSI.....	160
Figura 128. Router: Configuración de las IP's asignadas.....	160
Figura 129. Asignación de IP fija.....	161
Figura 130. Router: Asignación de puertos.....	161
Figura 131. Programa No-IP.....	162
Figura 132. Flujograma de la implementación del modelo térmico.....	168
Figura 133. Variación de la temperatura exterior.....	169
Figura 134. Radiación solar por superficie acristalada.....	169
Figura 135. Simulación de la variación de temperatura.....	169
Figura 136. Demanda de potencia del aire acondicionado sin control.....	171
Figura 137. Demanda de potencia del aire acondicionado con desconexión de una hora.....	171
Figura 138. Comparativa de métodos de previsión de potencia. Fuente [94].....	174
Tabla 1. Comparativa de protocolos de comunicación.....	46
Tabla 2. Porcentajes del consumo eléctrico residencial.....	82
Tabla 3. Variación del precio PVPC, 7-09-2014.....	110
Tabla 4. Términos de facturación de energía activa reales.....	170
Tabla 5. Comparación de términos de facturación de energía activa.....	170
Tabla 6. Resultados del control de la carga de aire acondicionado.....	172
Tabla 7. Ahorro aplicando el control del aire acondicionado.....	172
Tabla 8. Aplicación del modelo térmico al día 26-09-2014.....	173
Tabla 9. Errores absolutos de previsión.....	173

PRÓLOGO

En el marco actual de un sistema eléctrico en transformación debido a la implementación de fuentes de energía renovables, aumento de la demanda y desarrollo de las Smart Grids, es donde surge la necesidad y el gran potencial de la gestión de la demanda, entendiendo esta como el conjunto de acciones destinadas a influir sobre el uso que los consumidores hacen de la electricidad, produciendo los cambios deseados con el fin de modificar el perfil de consumo eléctrico, es decir, en la demanda.

La implementación de los programas de respuesta de la demanda en usuarios residenciales ha sido desplazada a un segundo plano comparada con usuarios comerciales e industriales debido a la complejidad técnica y económica que supone gestionar el elevado número de usuarios, necesitando un gran número de estos de manera agregada para obtener un buen balance de beneficios frente a costes. No obstante, la participación de este sector en los programas de respuesta de la demanda tiene un potencial mayúsculo debido principalmente al consumo representativo de la energía eléctrica total y durante los picos de demanda y al crecimiento de la demanda en este sector.

El objetivo de este trabajo radica en estudiar, desarrollar e implementar diferentes herramientas y soluciones para facilitar la gestión de la demanda en usuarios residenciales a través de un sistema de control energético. Este sistema permitirá centralizar el control automático de las cargas eléctricas para obtener respuestas óptimas ante señales de los programas de respuesta de la demanda individualizadas mediante configuraciones realizadas por cada usuario y apoyado en modelos matemáticos. Además, al mismo tiempo pretende informar al usuario sobre recomendaciones y resultados basados en el perfil de consumo almacenado con el objetivo de modelar activamente su curva de demanda y poder obtener beneficios económicos.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Se estima que un 60% de las inversiones energéticas en los próximos años se destinarán al sector eléctrico, con el fin de atender la creciente demanda de energía en regiones emergentes y densamente pobladas como China, India o Brasil y para incrementar y renovar los activos de los países más industrializados [1]. El aumento de la demanda eléctrica, principalmente en países emergentes se puede apreciar en la figura 1 en términos porcentuales¹.

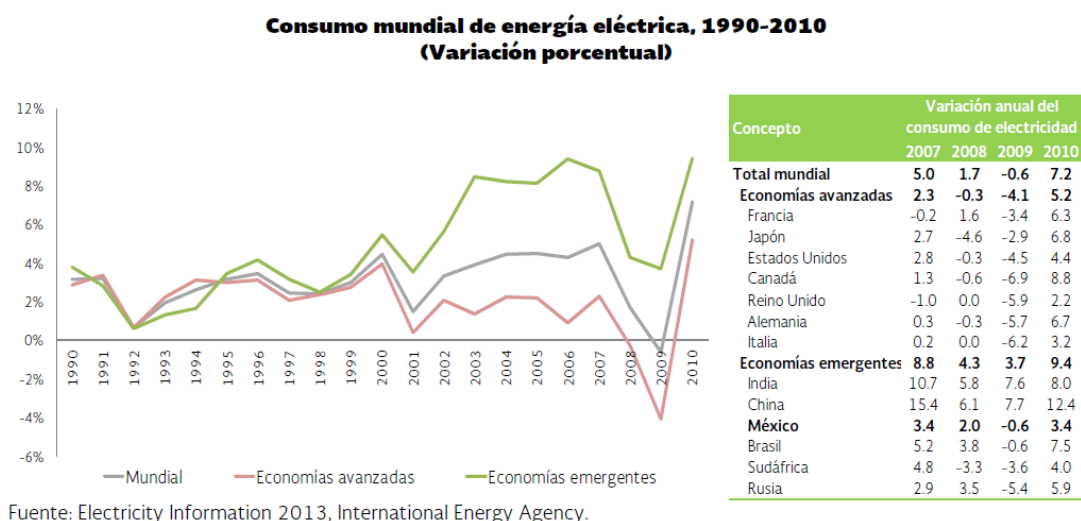


Figura 1. Evolución del consumo eléctrico mundial. Fuente [2]

1.1 ENERGÍAS RENOVABLES

El crecimiento de la demanda eléctrica durante las últimas décadas, unido a la mayor sensibilidad medioambiental ha propiciado la expansión de las fuentes renovables de energía, especialmente la eólica.

La tendencia alcista en la utilización de fuentes renovables seguirá en el futuro en todos los escenarios contemplados por la Administración de Información de la Energía de Estados Unidos

¹ El descenso del consumo eléctrico en 2009 no modifica la tendencia general alcista, si bien es más apreciable en economías avanzadas, en emergentes la tendencia siguió siendo alcista y globalmente ligeramente bajista(-0,6%).

(EIA) en sus previsiones sobre consumos energéticos hasta 2040 [3]. La figura 2 muestra la generación de energía renovable no hidroeléctrica desde 2012 hasta 2040. Según sus predicciones, entre 2012 y 2025 el aumento de la potencia solo supondrá un 4%. Sin embargo, conforme la tecnología asociada a la generación por fuentes renovables sea más económicamente competitiva, el aumento será mucho mayor. Además, incluso en las previsiones más pesimistas, con bajo crecimiento económico, la presencia de un significativo aumento en los cargos debidos a las emisiones de CO₂ tendrá el suficiente peso para impulsar el crecimiento de las energías renovables.

Dentro de las energías renovables, la eólica desarrollará un papel fundamental, como se puede apreciar en la figura 3. Cabe destacar igualmente la expansión de la generación de energía eléctrica mediante fuentes solares.

Figure IF7-2. Nonhydropower renewable electricity generation in eight cases, 2005-40 (billion kilowatthours)

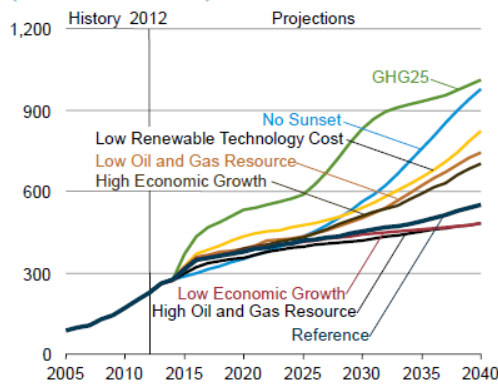


Figure MT-37. Renewable electricity generation by type, all sectors, in the Reference case, 2000-40 (billion kilowatthours)

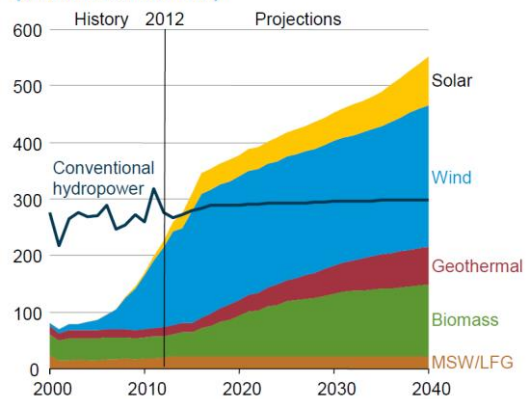


Figura 2. Evolución de la generación de energía renovable en 8 escenarios. Fuente [3]

Figura 3. Evolución de la generación de energía renovable por tipo. Fuente [3]

En España, la energía eólica actualmente es la más adquirida de las energías procedentes de fuentes renovables. La figura 4 muestra el aumento de la potencia eólica instalada en España en los últimos años.

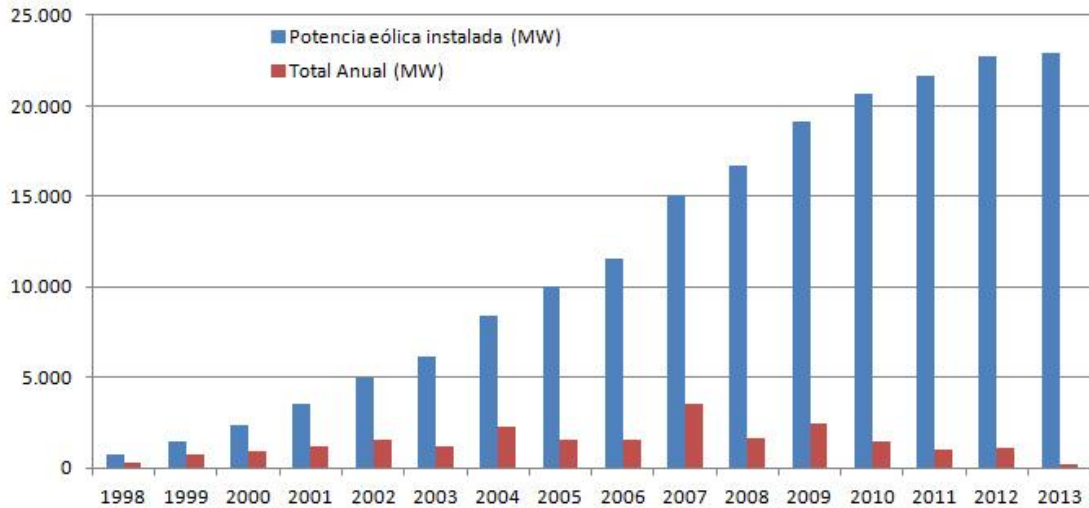


Figura 4. Potencia eólica instalada en España entre 1998 y 2013. Fuente [4]

El aumento de la potencia instalada ha permitido un incremento de la energía eólica adquirida entre 2012 y 2013 del 12,9 %, siendo la energía más adquirida en España en 2013 al régimen especial [5], como se puede observar en la figura 5. En enero de 2014 se produjo un nuevo máximo de producción mensual con 6.626 GWh, una cifra un 3,1% superior a la antigua marca de noviembre del 2013, que ascendía a 6.424 GWh. Además, la energía eólica supuso en el mes de enero de 2014 el 29,7% del total de generación eléctrica.

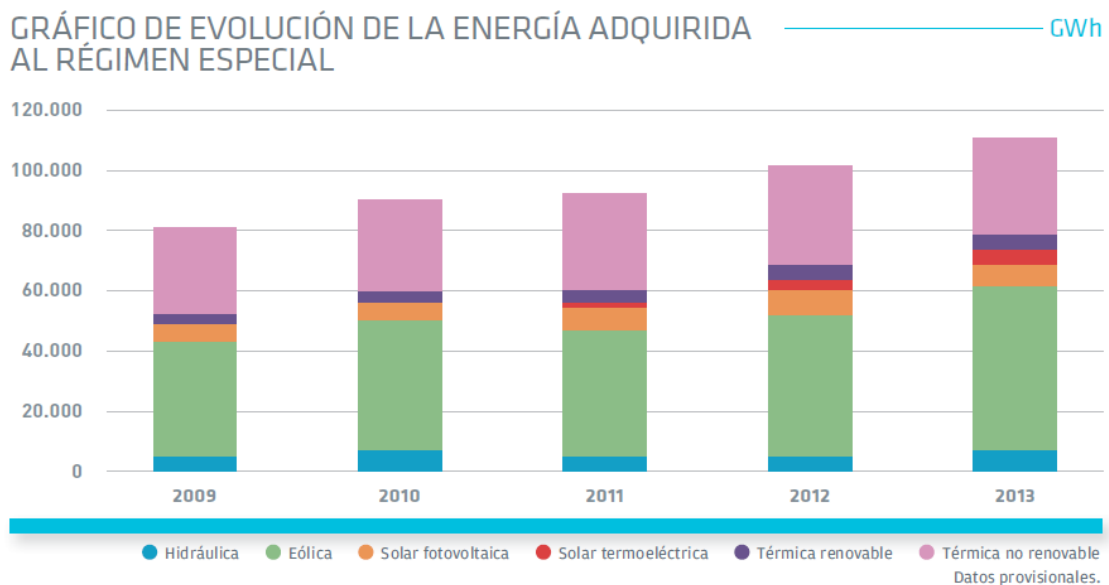


Figura 5. Energía adquirida en régimen especial en España entre 2009 y 2013. Fuente [5]

1.2 VARIABILIDAD EN LA PRODUCCIÓN

Como consecuencia de la expansión de las fuentes renovables eólica y solar, la potencia neta generada por otras fuentes no renovables será cada vez menor, como muestra un estudio realizado por CAISO (California Independent System Operator) [6]. La figura 6 muestra la variabilidad a lo largo de los años que provocarán la implementación de las energías eólicas y solar. La potencia neta mostrada ha sido calculada sustrayendo la producción de energía por fuentes eólicas y solares a la previsión de la demanda total.

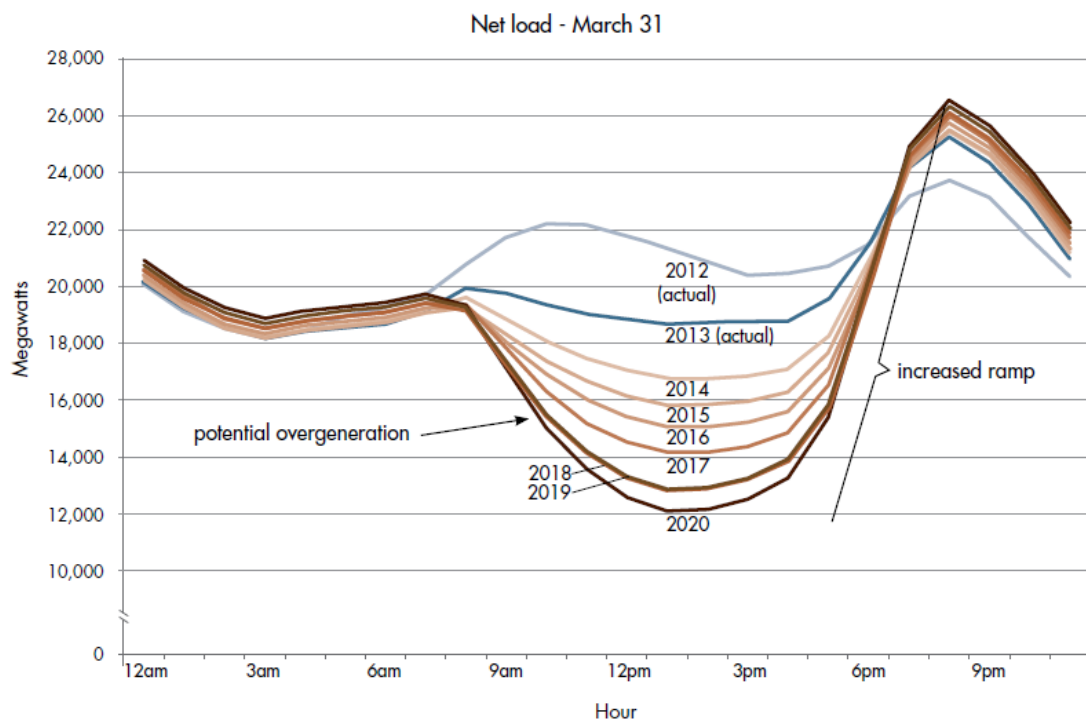


Figura 6. Variabilidad de la potencia neta generada debida a fuentes renovables en California. Fuente [6]

La figura 7 muestra la variabilidad de la producción eólica durante un mes característico en uno de los mayores parques eólicos de Estados Unidos (Parque eólico de Tehachapi, California).

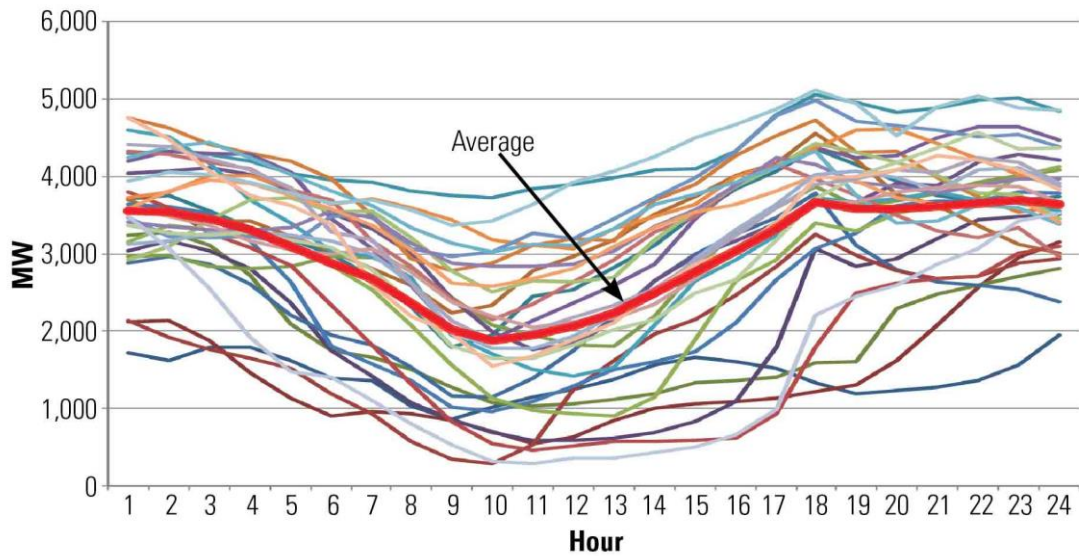


Figura 7. Variabilidad de producción eólica en un mes, California. Fuente [7]

El aumento de la variabilidad de la producción de energía eléctrica conlleva un aumento de la probabilidad de contingencias, una mayor indeterminación en la previsión del reparto según fuentes de la potencia generada y un aumento de los costes de operación del sistema eléctrico.

Existe además un cambio en el modelo energético, en el que algunos consumidores conectados a la red eléctrica tienen la posibilidad de aportar energía, lo que permitirá disminuir notablemente las pérdidas por transporte eléctrico y facilitar la conexión de las energías renovables, a costa de un aumento de la incertidumbre y complejidad, propiciando el desarrollo de las redes eléctricas inteligentes (Smart Grids) [8].

El almacenamiento de energía eléctrica en este contexto minimizaría los efectos de esta incertidumbre, sin embargo, hoy en día resulta inviable económicamente la implantación de esta tecnología a gran escala, lo que implica actualmente la necesidad de producir en cada instante la electricidad necesaria. La figura 8 muestra el intervalo de precio del almacenamiento de la energía eléctrica.

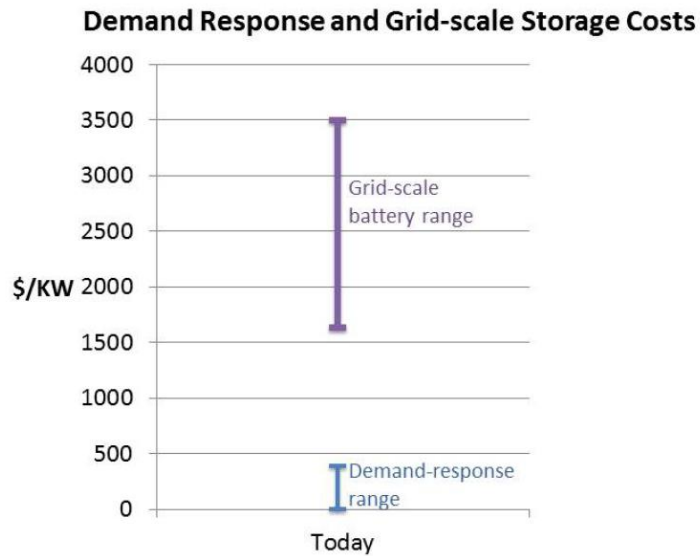


Figura 8. Costes del almacenamiento de energía eléctrica y de programas de respuesta de la demanda. Fuente [9]

Otro factor a tener en cuenta es la previsible incorporación masiva del vehículo eléctrico a la red eléctrica, lo que puede suponer un complemento ideal a la generación mediante fuentes renovables y un catalizador de los programas de gestión de la demanda, ya que podrá permanecer conectado a la red eléctrica durante gran parte del día y admite una modulación de la carga.

1.3 RESPUESTA DE LA DEMANDA

Es en este contexto de transformación del sistema eléctrico debido a la implementación masiva de fuentes renovables, aumento de la demanda y precios de la electricidad y al desarrollo de las Smart Grids es donde surge la necesidad y el gran potencial de la gestión de la demanda, entendiendo ésta como el conjunto de acciones destinadas a influir sobre el uso que los consumidores hacen de la electricidad, produciendo los cambios deseados con el fin de modificar el perfil de consumo eléctrico, es decir, en la demanda. La finalidad de la gestión de la demanda es la elaboración de un sistema eléctrico más eficiente y robusto y ayudar a la integración de las energías renovables, consiguiendo con ello una reducción del CO₂.

El perfil de consumo eléctrico o curva de la demanda se suele representar diariamente y muestra la cantidad de energía que requieren los usuarios a lo largo del día, dependiendo fundamentalmente de factores climatológicos (temperatura principalmente), estacionalidad del año, laboralidad (días laborales o festivos, eventos especiales), y actividad económica.

La figura 8 muestra la curva de la demanda en los días de máximo consumo entre 2009 y 2013 en España. Se pueden apreciar dos picos de consumo en la gráfica, al mediodía, cuando la mayoría de personas están en su jornada laboral y a las 20 horas, que se asocia al momento que en el que gran parte de estas personas llegan a sus hogares. La demanda mínima se produce de madrugada.

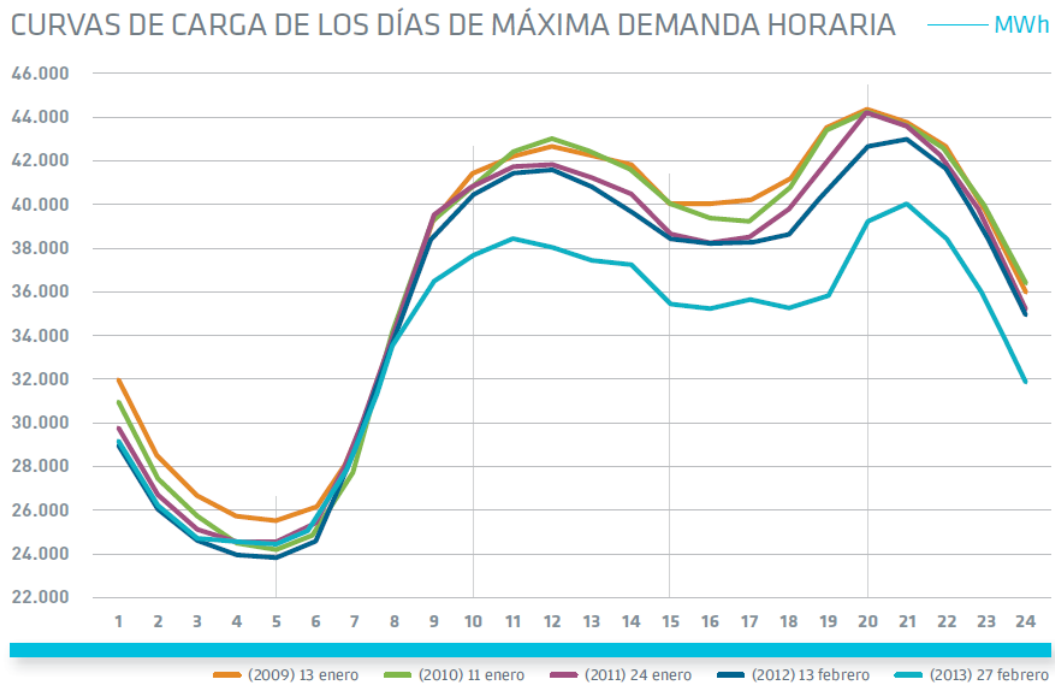


Figura 9. Curva de demanda en España en los días de máximo consumo entre 2009 y 2013. Fuente [5]

Una solución a los problemas planteados reside en la participación activa de los consumidores, modificando la energía eléctrica demandada. Es lo que se conoce como respuesta de la demanda. Los programas y actividades destinados a cambiar los patrones de consumo normalmente van destinados a una reducción del consumo, pero de manera general, la respuesta de la demanda debe ser flexible, promoviendo el consumo cuando existe gran cantidad de generación de energía eólica por ejemplo.

En la figura 10 se pueden apreciar 3 cambios diferentes:

- Reducción del consumo durante los picos de demanda.
- Desplazamiento del consumo de picos de demanda a horas valle.
- Generación de electricidad autónoma, en la que no se modifica el consumo pero sí la energía demandada al sistema eléctrico.

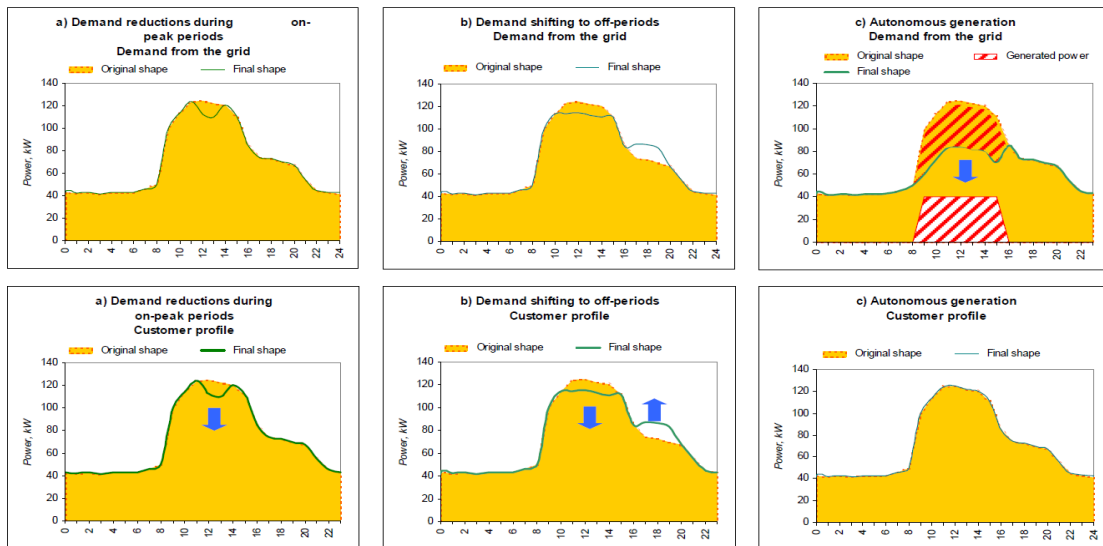


Figura 10. Cambios en la curva de demanda. Fuente [10]

Los programas de respuesta de la demanda se pueden clasificar mediante una matriz de dos dimensiones [11]. La primera dimensión caracteriza cuándo se llama a los participantes a modificar su consumo, pudiendo ser por razones de fiabilidad/emergencia del sistema o por razones económicas. La segunda dimensión hace referencia al método por el que los participantes son incentivados a participar, ya sea una reducción del consumo durante ciertos periodos de tiempo (respuesta de carga) o a la reducción voluntaria del consumo en respuesta a los precios del mercado, en la que los consumidores reducen la carga cuando el coste es menor que el de generación o compra de la energía. Una explicación detallada sobre los diferentes programas puede encontrarse en [11].

		Motivation Method	
		Load Response	Price Response
Trigger Criteria	Reliability	Direct Load Control Curtailable Load Interruptible Load	Critical Peak Pricing Demand Bidding
	Economic	Direct Load Control Curtailable Load	Time-of-Use Pricing Critical Peak Pricing Real-Time Pricing Demand Bidding

Figura 11. Clasificación de los programas de respuesta de la demanda. Fuente [11]

La respuesta a la demanda en Estados Unidos ha permitido que negocios y clientes residenciales obtengan unos beneficios por encima de los 2,2 billones de dólares [12], evitando inversiones en infraestructuras de la red eléctrica y plantas de generación. La figura 12 muestra un ejemplo con los beneficios y costes que supone la implementación de uno de estos programas en una empresa de California [13]. Como se puede observar, los beneficios son mayores que los costes.

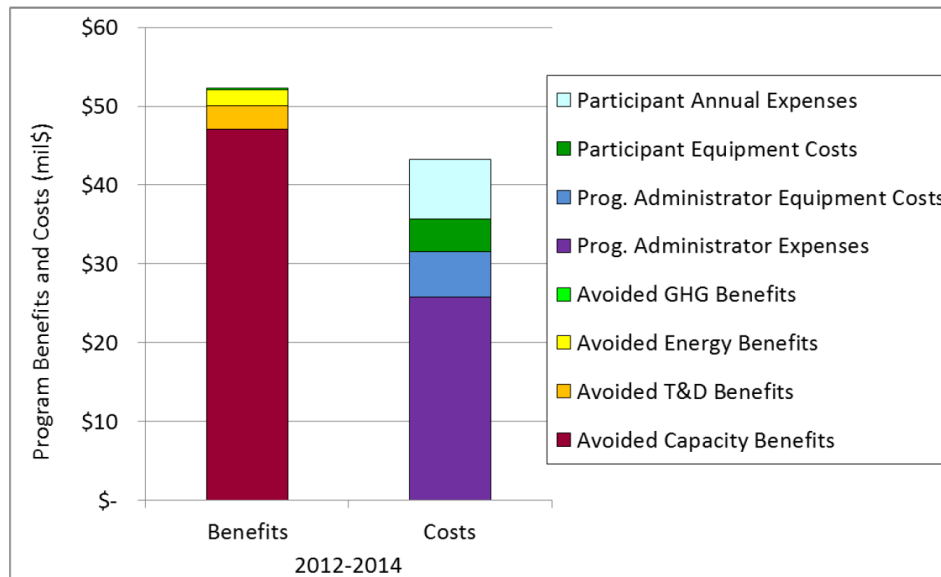
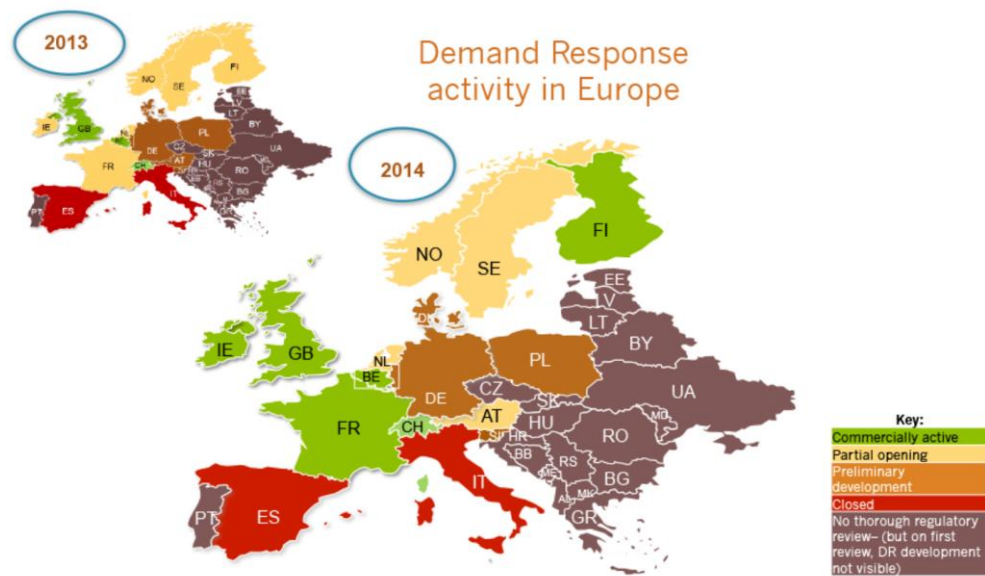


Figura 12. Beneficios y costes en la aplicación de programas de respuesta en una empresa, California. Fuente [13]

En Europa, las barreras regulatorias han evitado la correcta implementación de estos programas. Sin embargo, la Comisión Europea apoya fuertemente la respuesta a la demanda, como muestra el Artículo 15.8 de la Directiva de Eficiencia Energética [14], permitiendo un acceso de los clientes al mercado mediante diferentes programas de respuesta de la demanda, promoviendo programas de desarrollo e incentivando la participación de proveedores de servicio como agregadores, es decir, intermediarios que agrupan demandas elementales y permiten alcanzar los volúmenes de energía y potencia eléctrica necesarios para la participación en determinados productos de respuesta de la demanda en el caso de pequeños consumidores.

La correcta aplicación de este artículo tendrá un impacto directo en los servicios ofrecidos a los consumidores, el coste de la electricidad y la integración de las fuentes renovables. Como consecuencia de la aplicación de estas medidas, se pueden apreciar el progreso de la actividad en programas de respuesta de la demanda en algunos países de Europa entre 2013 y 2014 en la figura 13.



Demand Response Map of Europe 2013-2014

Figura 13. Mapa de la actividad de respuesta de la demanda en Europa, 2013-2014. Fuente [12]

La figura 14 muestra un cuadro resumen realizado por SEDC (Smart Energy Demand Coalition) sobre el análisis en Europa de los programas de respuesta de la demanda y la aplicación del artículo 15.8 de la Directiva de Eficiencia Energética.

Los países analizados han sido evaluados en base a cuatro criterios: acceso de los usuarios al mercado y proveedores de servicio, un apropiado programa, verificación y medida de las exigencias y balance entre recompensa y riesgo. Se muestra en código de colores la puntuación obtenida para cada criterio, siendo la escala de colores verde, amarillo, naranja y rojo de mayor a menor puntuación.

2013					
	Consumer access	Programs	Verification	Finance/Risk	Overall
Austria	0	1	1	3	5
Belgium	3	5	1	5	14
Denmark	1	0	1	3	5
Finland	3	1	3	3	10
France	3	3	3	3	12
GB	5	3	3	3	14
Germany	1	1	1	3	6
Ireland	3	3	3	3	12
Italy	1	1	0	1	3
Netherlands	3	3	3	1	10
Norway	1	3	1	5	10
Poland	1	3	1	0	5
Spain	0	1	0	1	2
Sweden	1	3	3	3	10
Switzerland	5	3	5	5	18
Overall Score	31	34	29	42	136
Max. Score	75	75	75	75	300

2014					
	Consumer access	Programs	Verification	Finance/risk	Overall
Austria	3	3	3	3	12
Belgium	5	5	3	5	18
Denmark	1	0	3	3	7
Finland	5	3	3	3	14
France	5	5	3	5	18
GB	5	3	3	3	14
Germany	1	3	1	3	8
Ireland	3	3	5	5	16
Italy	1	1	0	1	3
Netherlands	3	3	3	1	10
Norway	1	3	3	5	12
Poland	1	3	3	0	7
Spain	0	1	0	1	2
Sweden	1	3	5	3	12
Switzerland	5	3	5	5	18
Overall	40	42	43	46	171
Max. Score	75	75	75	75	300

Figura 14. Calificación por países europeos en programas de respuesta de la demanda, 2013-2014. Fuente [12]

La investigación muestra progresos entre 2013 y 2014 debido a medidas aprobadas en algunos países como Bélgica, Gran Bretaña, Finlandia, Francia, Irlanda y Suiza. El resto de países analizados no cumplen con los requisitos establecidos por la Unión Europea o no prevén que sea posible la implementación de los programas de respuesta de la demanda establecidos en la regulación en 2014. Se observa por tanto una desconexión entre las promesas políticas y la regulación de algunos países miembro, ya que mientras que las políticas europeas exigen servicios y beneficios para los consumidores mediante la aplicación de estos programas, la regulación no ha sido ajustada para alcanzar estos objetivos. España ha obtenido la peor puntuación tanto en 2013 como en 2014, lo que es una de las razones técnicas que justifica el desarrollo de nuevos conocimientos en el problema a través de la realización del presente trabajo fin de grado.

En Estados Unidos, la tendencia en la aplicación de programas de respuesta de la demanda es claramente alcista, incrementado su potencial de reducción de picos de energía en más de 10000 MW entre 2010 y 2012, lo que supone más de un 25 % respecto al año 2010 y permitiendo que en 2012 contara con un potencial de reducción de picos de energía de 66351 MW. Esta tendencia se aprecia claramente en la figura 15.

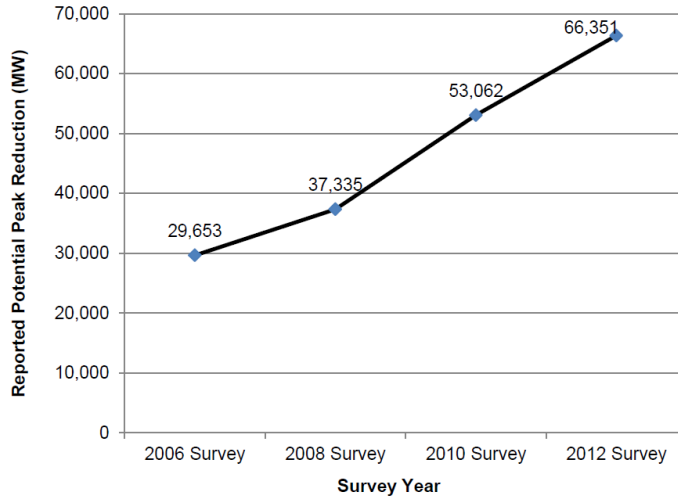


Figura 15. Tendencia en USA en la aplicación de programas de respuesta de la demanda. Fuente [15]

Mientras que la capacidad de respuesta de la demanda ha incrementado prácticamente linealmente durante los últimos años, los contribuidores y programas aplicados han ido evolucionando a lo largo de los años.

Las figuras 16 y 17 muestran los diferentes tipos de programas de demanda de la respuesta en 2010 y 2012 respectivamente en Estados Unidos.

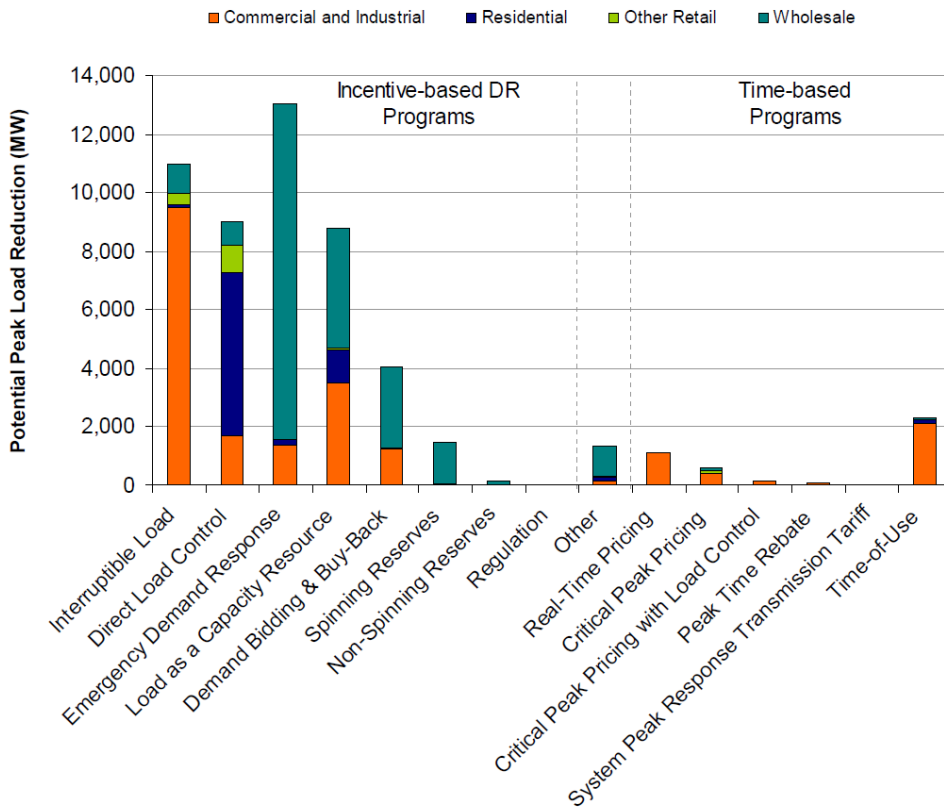


Figura 16. Distribución de programas de respuesta de la demanda en USA, 2010. Fuente [16]

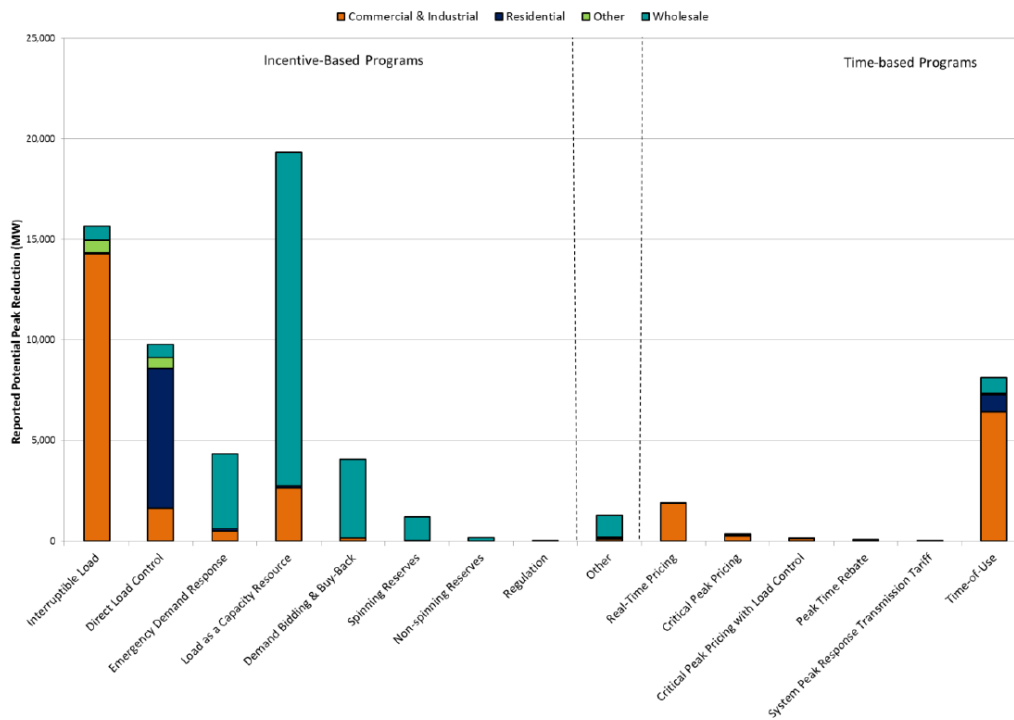


Figura 17. Distribución de programas de respuesta de la demanda en USA, 2012. Fuente [15]

Mientras que en 2010 el programa predominante era la respuesta de demanda ante emergencias (13 GW), en 2012 el programa dominante es pagos por capacidad (Load as a Capacity Resource) con 20 GW, lo que refleja la evolución y cambios que se están produciendo en el ámbito de la demanda de la respuesta [15].

En 2012 se pueden distinguir 4 programas principales que contribuyen a un 80% del potencial de reducción de electricidad:

- Pagos por capacidad 29% del total de potencial de reducción.
- Carga interrumpible: 24% del total de potencial de reducción.
- Control directo de carga: 15% del total de potencial de reducción.
- Periodos de uso (Time of Use): 12% del total de potencial de reducción.

1.4 IMPORTANCIA DEL SECTOR RESIDENCIAL

El aumento de participantes en los programas de respuesta de la demanda en Estados Unidos creció entre todos los usuarios (comercial e industrial, residencial y mercado mayorista) como muestra la figura 18.

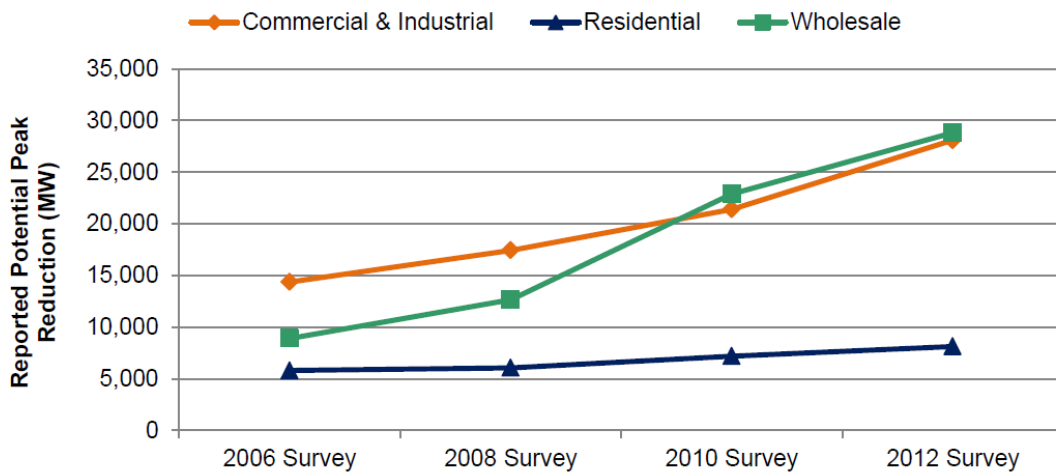


Figura 18. Participantes según sector en programas de respuesta de la demanda, USA. Fuente [15]

La potencial reducción de picos de consumo por usuarios comerciales e industriales entre 2010 y 2012 creció un 31%, un 26% en el mercado al por mayor (de 22884MW a 28807 MW) y un 13% en usuarios residenciales (de 7189 a 8134 MW).

El sector residencial ha experimentado un crecimiento mucho menor que la industria y comercios, debido posiblemente a la mayor cantidad de recursos y esfuerzos necesarios para la implementación de los programas de respuesta de la demanda en este tipo de usuarios, debido a su gran número, que aumenta la complejidad de su gestión tanto técnica como económicamente, necesitando un gran número usuarios agregados para obtener un buen balance de beneficios frente a costes. Sin embargo, el sector residencial tiene un gran potencial en la participación en la respuesta de la demanda, entre otros factores debido a:

- Consumo representativo de la energía eléctrica total: El consumo residencial de energía total y eléctrica en Estados Unidos representa un 21 y 37% respectivamente [17], mientras que en Europa el consumo residencial es del 25 y 29%. En España el consumo representa el 17 y 25% [18].
- Crecimiento del consumo: En Estados Unidos, la EIA (U.S. Energy Information Administration) prevé un aumento del consumo energético residencial entre 2011 y 2040 del 41%.

En España es previsible un incremento de la representatividad del sector residencial en la demanda energética [18] debido a factores como el cambio de los hábitos de consumo, una mejora del nivel de vida y al equipamiento progresivo de los hogares. La siguiente figura muestra la tendencia alcista del consumo energético en el sector residencial en España:

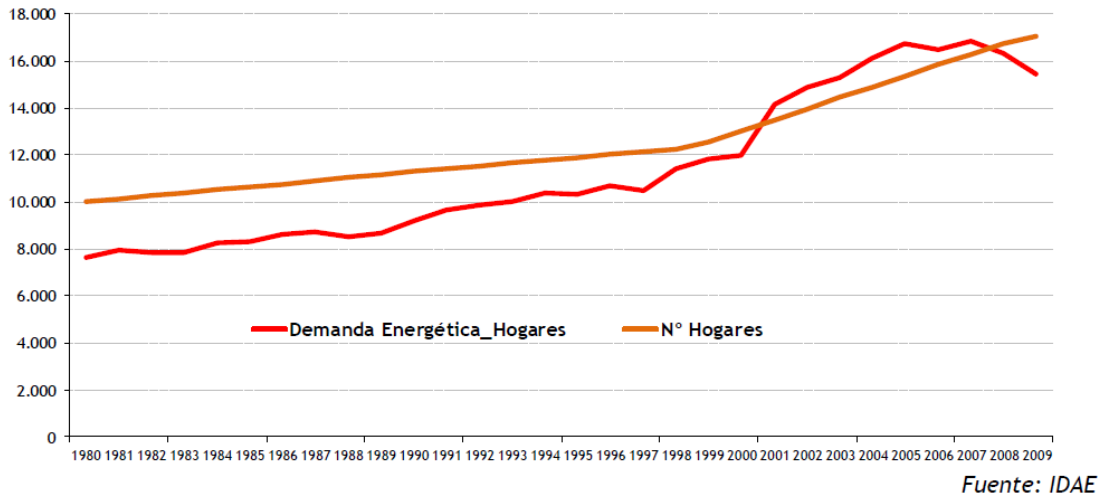


Figura 19. Consumo energético en hogares españoles, 1980-2009. Fuente [18]

- Elevada contribución en los picos de consumo: En zonas con veranos calurosos, una importante parte del pico de la demanda eléctrica proviene de los aires acondicionados residenciales y de pequeños comercios.
- Interés en la participación: En Estados Unidos, un 75% de la población tienen conciencia sobre el impacto del precio de la electricidad en sus facturas y un 63 % estaría dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo [19].

En Estados Unidos se estima que en 2020, la respuesta de la demanda del sector residencial pueda suponer hasta un 45 % del potencial total [20].

1.5 PROGRAMAS DE PRECIO DINÁMICO

Según la Comisión Federal Reguladora de la Energía en Estados Unidos, los programas en respuesta al precio que en 2012 tenían mayor importancia en cuanto a capacidad de reducción de los picos de consumo son, en orden de potencia: TOU (Time of Use), RTP (Real Time Pricing) y CPP (Critical Time Pricing) [15].

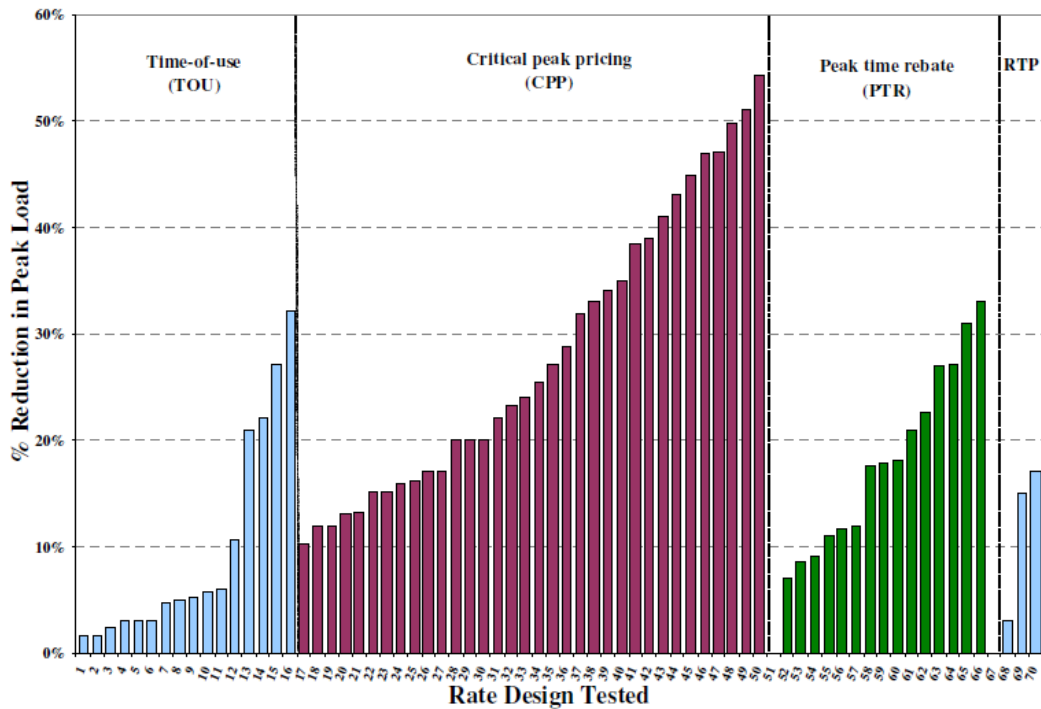


Figura 20. Reducción del pico de consumo según programas, USA. Fuente [21]

- TOU (Time of Use): Está extensamente ofrecido a los consumidores, los cuales pagan diferentes precios según el periodo del día. Normalmente suelen existir dos precios: un precio alto y otro bajo, aunque a veces se ofrecen tarifas con 3 precios diferentes, como la tarifa regulada PVPC (Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor) en la modalidad supervalde. Las tarifas TOU permiten modelar la curva de la demanda cambiando los hábitos de los consumidores con el fin de obtener un mayor consumo en los valles de demanda y uno menor en los picos. Sin embargo, debido a que los precios no cambian día a día, no permiten inducir cambios en los consumidores a corto plazo, uno de los grandes objetivos de la respuesta de la demanda [22].
- RTP (Real Time Pricing): Se trata de una tarifa dinámica que refleja prácticamente el coste real de la electricidad. Los precios varían típicamente cada hora o 15 minutos y suelen estar basados en los precios de mercado previstos el día anterior.
- CPP (Critical Time Pricing): Estos programas son usados para reducir el consumo durante los periodos de picos de consumo críticos. Las veces que los usuarios están llamados a estos eventos son limitadas, recibiendo la notificación del evento con antelación, normalmente de 24 horas, aunque algunos programas utilizan tiempos de notificación menores. Este programa se utiliza frecuentemente en combinación con las tarifas TOU.

Las tarifas TOU son por tanto las menos variables, seguidas de las CPP y finalmente de las RTP, en las que el cliente tiene la mayor exposición al mercado eléctrico y por tanto de riesgo de

variabilidad del precio. Sin embargo, a medida que la tarifa eléctrica es más estable, el usuario deberá de pagar un “extra” para que comercializadoras y suministradores asuman el riesgo.

La figura 21 muestra como un aumento de la exposición del cliente al mercado aumenta la variabilidad del precio, pero el potencial de beneficio crece igualmente.

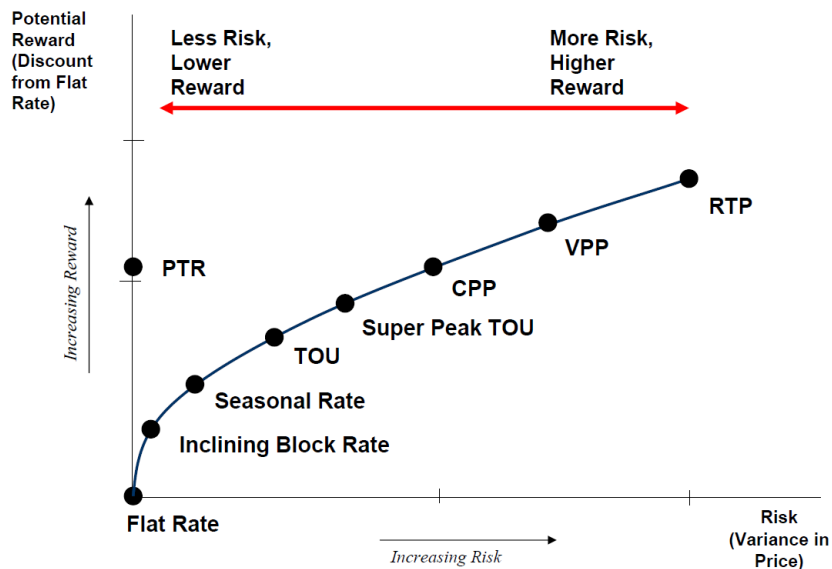


Figura 21. Evolución de la potencial de recompensa económica frente a la variabilidad de precio. Fuente [23]

Las tarifas RTP son las que más variabilidad tienen y por tanto las que mayor potencial de ahorro tienen para el cliente. El riesgo que asume el consumidor en la variabilidad del precio podrá ser compensado mediante la implantación de herramientas de automatización.

1.6 SMART METERS Y TECNOLOGÍAS CATALIZADORAS (ENABLING TECHNOLOGIES)

Los programas de respuesta de la demanda con precio dinámico requieren de mediciones de potencia con diferenciación horaria, obtenidos a través de los contadores inteligentes. Su expansión en los últimos años ha sido notable. En Estados Unidos, en 2012, un 22,9 % de los medidores instalados son Smart Meters. La figura 22 muestra la evolución en la instalación de contadores inteligentes entre 2006 (con sólo un 0,7%) hasta 2012.

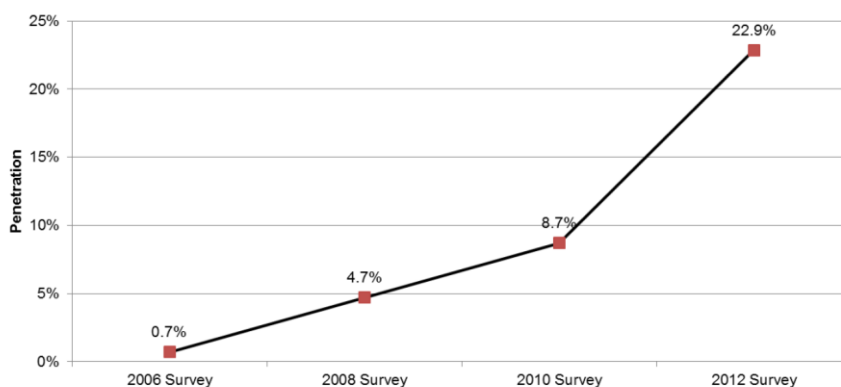


Figura 22. Contadores inteligentes instalados en USA, 2006-2012. Fuente [15]

En Europa, la Directiva 2009/72/CE obliga a que en 2020 el 80% de los consumidores tengan equipado uno de estos medidores avanzados [24].

La tecnología de la red eléctrica inteligente (“Smart Grid”) nace de los intentos por utilizar controles de consumo mediante medidores y sistemas de monitorización, lo que permite una constante comunicación y controles en tiempo real gracias a la información del consumo real suministrada por los contadores inteligentes, manteniendo una constante comunicación con la red eléctrica.

A continuación se muestran algunos de los grupos más destacados en el desarrollo e investigación de las tecnologías asociadas a las Smart Grids [25]:

- IEC Smart Grid Strategy Group: IEC es una fuente de referencia para gran cantidad de proyectos relacionados con Smart Grid en todo el mundo. Han desarrollado estándares para la interoperabilidad de los sistemas y dispositivos que conforman la red [26].
- National Institute of Standards and Technology (NIST): Es la organización nombrada por Estados Unidos en el Decreto de Independencia Energética y Seguridad (EISA) de 2007 para gestionar el proyecto de selección de un conjunto de estándares para la red Smart Grid de ese país. Sin embargo, en sí mismo no es un organismo de estandarización [27].
- IEEE P2030. Es uno de los grupos de trabajo de la IEEE. Está encargado de la creación de una guía para la interoperabilidad para la implementación de las nuevas tecnologías eléctricas y de la información [28].

Además, la gestión del consumo eléctrico requiere el control de cargas. Para el correcto desarrollo de los programas de respuesta de la demanda, se necesitan aparte de contadores inteligentes, la implantación de tecnologías de verificación de la variación del consumo del cliente

Consumidores industriales y grandes consumidores han implantado modelos de gestión de la demanda, sin embargo, los usuarios residenciales han estado al margen de este desarrollo.

La figura 23 muestra un resumen del análisis de diferentes tarifas de precio dinámico basados en 28 observaciones de 15 experimentos, 13 de ellos realizados en diferentes estados de Estados Unidos y el resto en Australia y Canadá, realizado por The Brattle Group en 2009 [29].

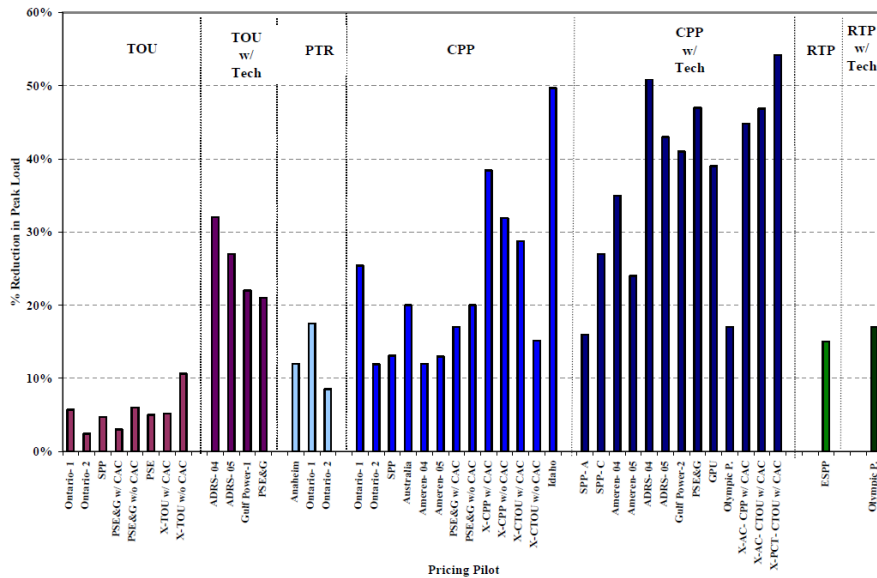


Figura 23. Reducción del pico de demanda según diferentes tarifas de precio dinámico, 2009. Fuente [29]

Se puede apreciar claramente como la implantación de tecnología por parte de los usuarios aumenta en todos los tipos de tarifa la potencial reducción del consumo.

De media, los programas TOU tienen asociada una reducción del pico de consumo del 4% y un intervalo de confianza del 95% para reducciones entre el 3 y el 6%. La utilización de tecnología en este tipo de programas aumenta la media de reducción de consumo al 26% y el intervalo de confianza del 95% al rango de 21 al 32%.

La media para los programas CPP supone un potencial de reducción de pico de consumo del 17%, con un intervalo de confianza del 12 al 25%, mientras que la implementación de tecnología con estos programas hace aumentar la media al 36% y el intervalo de confianza del 95% al rango del 16 al 51%. Estos valores se pueden observar en la figura 24.

Rate Design	Number of Observations	Mean	95% Lower Bound	95% Upper Bound	Min	Max
TOU	5	4%	3%	6%	2%	6%
TOU w/ Technology	4	26%	21%	30%	21%	32%
PTR	3	13%	8%	18%	9%	18%
CPP	8	17%	13%	20%	12%	25%
CPP w/ Technology	8	36%	27%	44%	16%	51%

Figura 24. Tabla de resultados de observaciones sobre diferentes programas de precio dinámico. Fuente [29]

En resumen, la implementación de tecnología tiene un impacto muy positivo en la reducción del pico de consumo para todos los programas.

Otro análisis llevado a cabo por The Battle Group en 2011 [23] muestra la misma tendencia (figura 25).

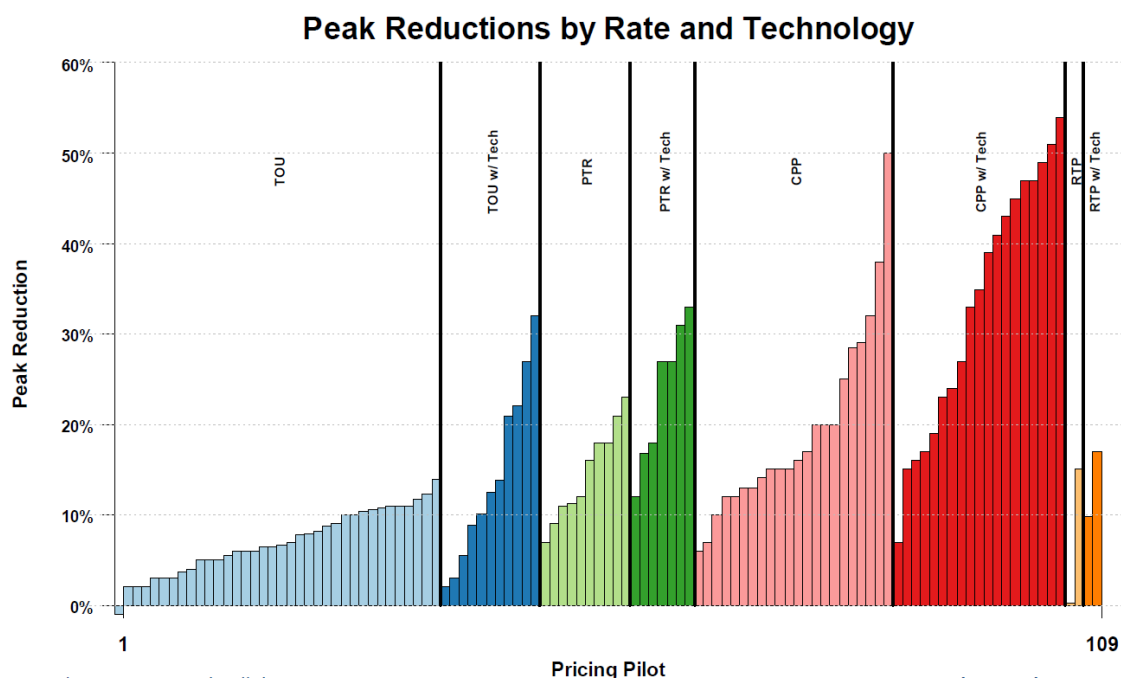


Figura 25. Reducción del pico de demanda según diferentes tarifas de precio dinámico, 2011. Fuente [23]

CAPÍTULO 2:

AUTOMATIZACIÓN EN EL SECTOR RESIDENCIAL

2.1 SITUACIÓN ACTUAL Y POSIBILIDADES

La aplicación de tecnología en viviendas destinada a la implantación de programas de respuesta de la demanda supone una ampliación de las capacidades de las Smart Grids. Tradicionalmente las compañías eléctricas han desarrollado la infraestructura necesaria para la distribución de la energía eléctrica hasta el cuadro de contadores, punto que marca el fin de la propiedad de la compañía eléctrica y el inicio de la propiedad del cliente. Más allá de este punto, la responsabilidad de la instalación y el control del consumo son del cliente.

Sin embargo, la aplicación de programas de respuesta de la demanda para cambiar el consumo eléctrico, supone el traspaso de información y señales de control para modelar el perfil de demanda hasta el punto de consumo final, situado en la vivienda y por tanto propiedad del cliente.

Mientras que existe claramente definido un límite en la distribución de la energía eléctrica, no resulta tan obvio cuál es el punto en el que cambia la responsabilidad del control de las cargas eléctricas y de la transmisión de señales, lo que influirá en gran medida en los resultados obtenidos. El control de ciertas cargas, como aparatos de aire acondicionado, por fuentes externas al propietario de la vivienda, supondría una gran precisión en la predicción de los resultados debido a señales de control de los programas de respuesta de la demanda. Este control resultaría especialmente importante en los programas de respuesta de carga en situaciones críticas para la red eléctrica, pues estas se prevén con pocas horas de antelación y existe una gran incertidumbre en cuál será la respuesta. Aunque esta solución daría una gran robustez al sistema eléctrico, no resulta en la práctica una solución útil para el público general, ya que se estarían controlando cargas que son propiedad del residente en una línea eléctrica perteneciente a éste.

La solución a esta incertidumbre reside en la aplicación de la tecnología existente para crear respuestas automáticas a las señales de control que puedan ser configuradas por los propietarios. Esto permitiría aumentar enormemente la robustez de la respuesta, pues el propietario no tendría que estar atento a las señales, lo que permitiría el control de cargas con el propietario ausente de su vivienda y a su vez la solución al problema de la responsabilidad del

control, pues serían configuradas por el cliente según sus criterios. Además, podría enviarse esta información a los suministradores de los programas de respuesta de la demanda para aumentar la fiabilidad de las predicciones, pues las cargas controladas automáticamente tendrán una gran probabilidad de responder a las señales de control enviadas.

Uno de los problemas asociados al envío de información sobre el control automático de cargas y sobre la respuesta en tiempo real del consumo de una vivienda reside en la preocupación sobre la privacidad de los clientes. La encriptación en el envío de datos sobre la potencia consumida resolvería el problema de la adquisición de datos por terceros. La agregación de datos por zonas residenciales sería una forma de eliminar información personal sobre la información de cargas automatizadas y disponibles para los eventos de respuesta de la demanda, lo cual no restaría fiabilidad a las predicciones.

La figura 26 muestra cómo sería el modelo de envío de datos, de encriptación y agrupación entre cada vivienda y la compañía eléctrica:

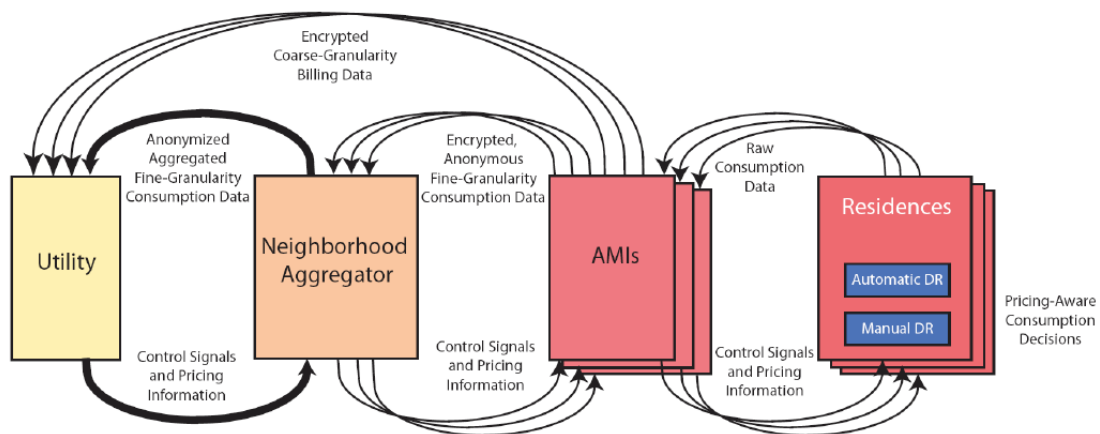


Figura 26. Modelo de envío de datos en sector residencial. Fuente [30]

Uno de los principales inconvenientes en la aplicación real de automatización en el sector residencial reside en la falta de conocimiento o tiempo para su implantación por parte de los propietarios. Este no es un problema mayor en el sector industrial, pues pueden contar con personal cualificado que desarrolle específicamente un plan de respuesta de la demanda. El principal objetivo de este trabajo reside en analizar diferentes soluciones existentes para la automatización residencial y desarrollar e implementar las soluciones que permitan dar una respuesta completa, automática y práctica ante programas de respuesta de la demanda para el usuario residencial.

2.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN RESIDENCIAL

La automatización del control de las cargas residenciales requiere principalmente de la instalación de 3 partes diferenciadas:

- Red de comunicación (Home Area Network, HAN): Permite el control de los dispositivos, utilizando diferentes protocolos de comunicación. Se pueden distinguir los siguientes componentes básicos [31]:
 - o Portal de red o Gateway: Conecta la red local con el exterior. Recibe señales como la potencia consumida, precio de la energía eléctrica, temperatura exterior, etc.
 - o Puntos de acceso a la red: Se trata de dispositivos que permiten el intercambio de información entre los controladores y los dispositivos finales a través del mismo protocolo de comunicación. Forman los nodos de la red.
 - o Dispositivos finales: Son las cargas eléctricas controladas en la red, tales como aparatos de aire acondicionado con control directo o a través de termostatos. Incluye además dispositivos de visualización de información sobre la red, como pantallas que muestren la potencia consumida o el precio en tiempo real de la electricidad. Estos dispositivos de visualización con capacidades limitadas de actuación se denominan In Home Displays (IHD).
- Contadores inteligentes (Advanced Metering Infrastructure, AMI): Permiten la lectura en tiempo real de la potencia consumida en la vivienda. Es un componente fundamental en la implantación de programas de respuesta de la demanda, pues permite el proceso de envío de datos a la compañía eléctrica. En teoría, debería de poder establecerse una comunicación con el propietario, lo que permitiría al usuario poder controlar su consumo en tiempo real.
- Sistemas de control energético (Home Energy Management, HEM): Es realmente el “corazón” del sistema de automatización residencial, ya que permite la monitorización de la potencia consumida y ajuste del consumo eléctrico según los datos recibidos (previsiones de precio de la energía eléctrica, señales del programa de respuesta de la demanda como horas críticas, temperatura, etc.). El sistema de control energético utiliza la red de comunicación residencial como plataforma para la transmisión de las señales de control e información a los dispositivos finales. Además, utiliza los datos de los contadores inteligentes, por lo que es el dispositivo central en una red de automatización residencial, ya que sin él no serían posibles respuestas automáticas a los

programas de respuesta de la demanda, sino que únicamente se producirían respuestas manuales.

El sistema de control energético, a través de ajustes iniciales para cada solución individual establecida por el usuario (cargas que desea controlar, prioridad de estas cargas, rango de temperaturas deseado, etc.) debe de ser capaz de hallar la solución óptima para el control de cargas según las señales de los programas de respuesta de la demanda y realizar sugerencias al usuario. Además, podría permitir la comparación de su consumo y ajustes realizados con el resto de residentes de la zona (mediante datos agregados para proteger la privacidad). Este sistema aporta además del control automático de cargas como consecuencia de señales de programas de respuesta de la demanda, algunas de las siguientes ventajas [32]:

- Minimiza las pérdidas de energía: La instalación de sensores en la vivienda, tales como sensores de presencia, temperatura o luz, ayudaría a reducir el consumo eléctrico, ya que el sistema de control recibiría información sobre la ocupación de la vivienda para apagar todos los dispositivos innecesarios o cerrar persianas para tener unas mínimas pérdidas/ganancias térmicas según la época del año si no hay ocupación. Cuando haya ocupación, sería capaz de regular la apertura de persianas para controlar la intensidad lumínica evitando el gasto innecesario en iluminación. Las señales sobre la temperatura interna y externa de la vivienda servirían para establecer un consumo óptimo en aire acondicionado y calefacción.
- Control de las emisiones de CO₂: El sistema de control energético es capaz de dar información al usuario de la energía consumida en tiempo real, lo que dará conciencia sobre su gasto real y el impacto que el consumo tiene en las emisiones de CO₂, una causa principal del cambio climático.
- Bienestar de los usuarios: La programación de ciertos eventos (como la apertura y cierre de persianas según la ocupación), no sólo tendrá un impacto en el ahorro energético, sino que mejorará la calidad de vida. Además, la reducción del consumo permitirá un ahorro en las facturas eléctricas. La monitorización de la potencia consumida en tiempo real ayudará también a una mayor transparencia y comprensión de las facturas eléctricas.
- Beneficios públicos: La implantación de residencias energéticamente eficientes podría tener reducciones en ciertos impuestos, ya que se ahorraría dinero en inversiones de infraestructuras públicas.

- Consumo óptimo de energías renovables propias: La implantación de fuentes de energías renovables en la vivienda como células fotovoltaicas o generadores eólicos requieren para su consumo óptimo de un sistema que controle la energía consumida según la producción. El sistema de control regularía las cargas según las previsiones y datos reales de generación de energía renovable y los requerimientos de la vivienda.

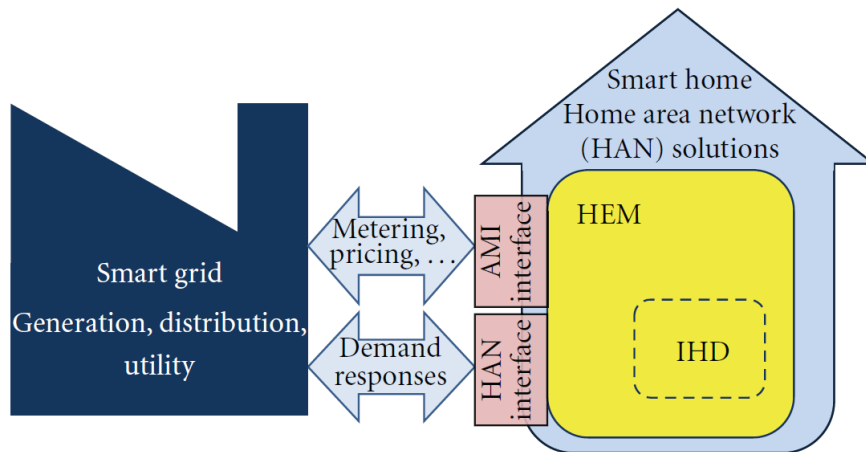


Figura 27. Estructura de un sistema de automatización residencial. Fuente [32]

En conclusión, un sistema de automatización residencial requiere de un contador inteligente que mida la potencia consumida en tiempo real, un sistema de control energético que controle la potencia consumida y una red de comunicación para la transmisión de información entre el sistema de control, contador inteligente y las cargas finales (figura 27).

En primer lugar se han analizado el software y hardware central necesario para la creación de una red que integre dispositivos basados en diferentes protocolos. Seguidamente se han analizado los principales protocolos existentes para establecer la red de comunicación. A continuación se han desarrollado diferentes sistemas de medida para la adquisición de la potencia consumida en tiempo real (AMI). Se han analizado las principales cargas que deben ser controladas y se ha implantado un sistema de actuación remota para dichas cargas. Finalmente se ha explicado el sistema de control energético desarrollado y un resumen de las soluciones reales adoptadas para el sistema de respuesta automática para diferentes programas de respuesta de la demanda.

CAPÍTULO 3:

SOFTWARE Y HARDWARE CENTRAL DE COMUNICACIÓN

3.1 HARDWARE DEL SISTEMA DE CONTROL ENERGÉTICO

El hardware central que se ha instalado en la red de comunicación es un PC portátil, algunas de sus características se muestran a continuación:

- Sistema operativo: Windows Vista
- Tipo de sistema: 32 bits
- Procesador: Genuine Intel(R) CPU 1,66 GHz
- Memoria RAM: 2 GB

El PC actuará como dispositivo central de la comunicación y albergará el sistema de control energético. Todos los datos de entrada serán evaluados en el PC, como la temperatura exterior e interior de la vivienda, la intensidad lumínica existente, precios de la electricidad, señales de control, etc. y la potencia eléctrica consumida en tiempo real proveniente del contador inteligente. Según estos datos de entrada y la programación del sistema de control energético implantado en el PC, se tomarán diferentes actuaciones sobre las cargas eléctricas, permitiendo un control automático según diferentes señales de los programas de respuesta de la demanda.

El PC envía información sobre la potencia consumida en tiempo real para su visualización en diferentes dispositivos, como pueden ser ordenadores, tablets, smartphones, etc. Estos dispositivos permiten además cambiar la configuración del sistema de control de forma manual, tales como un cambio en la temperatura del termostato o encender una carga que ha sido desconectada automáticamente por el PC. La figura 28 muestra un resumen de las conexiones que se establecen en el PC.

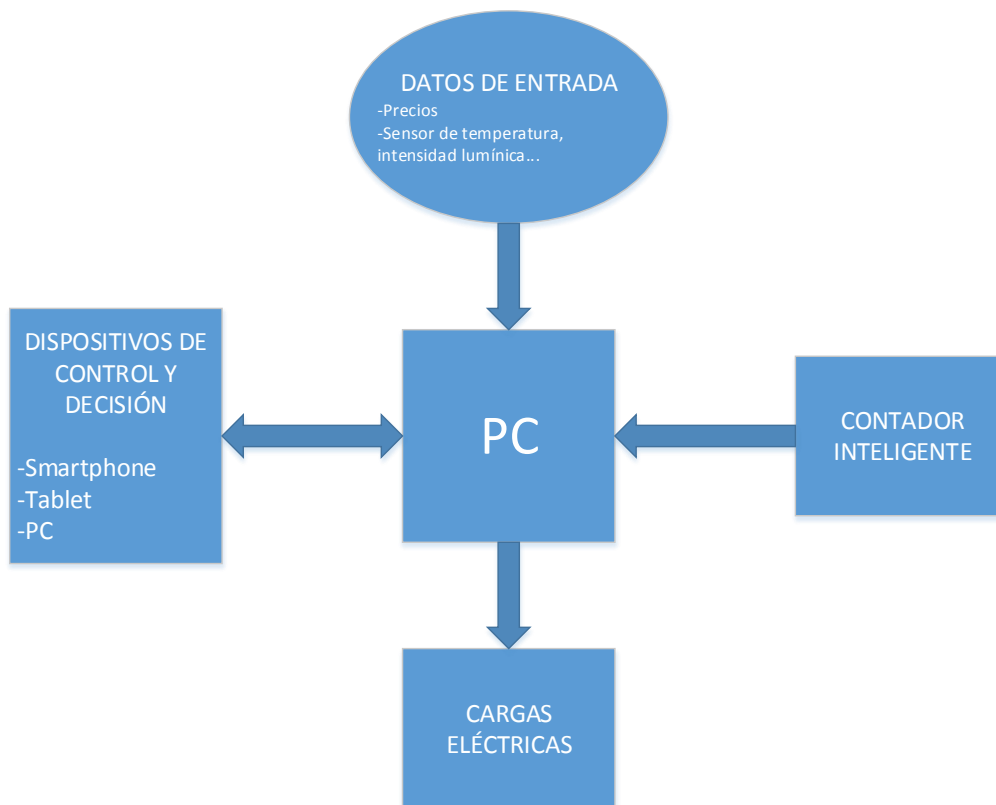


Figura 28. Entradas y salidas del PC.

La comunicación entre los diferentes dispositivos del esquema anterior y el PC se realiza mediante diferentes protocolos, que serán analizados posteriormente.

3.2 SOFTWARE DEL SISTEMA DE CONTROL ENERGÉTICO

Para la implantación del sistema de control energético en el PC se ha elegido el programa IP-Symcon [33].

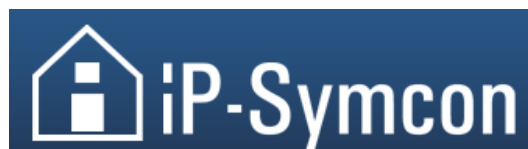


Figura 29. Logo IP-Symcon

Se trata de un software de origen alemán, que facilita la automatización tanto del sector residencial como del industrial. Se ha elegido este software básicamente por tres razones:

- Permite la integración de una gran cantidad de protocolos de comunicación en el mismo programa. Entre ellos destacan las siguientes tecnologías: FS20, Homematic, Z-Wave, ZigBee, EnOcean, ModBus y diferentes autómatas de Siemens.
- Programación en PHP: IP-Symcon permite la programación en PHP, un lenguaje de programación muy completo que permite integrar el sistema de control energético en este programa.
- Ejecución automática del código: IP-Symcon permite la ejecución de un programa escrito en PHP (script) tanto cíclicamente como con cambios en variables. Esto será útil para la descarga de datos sobre precios y señales de control, guardado de variables, etc.

A continuación se muestra el inicio del programa IP-Symcon y la opción de añadir eventos.

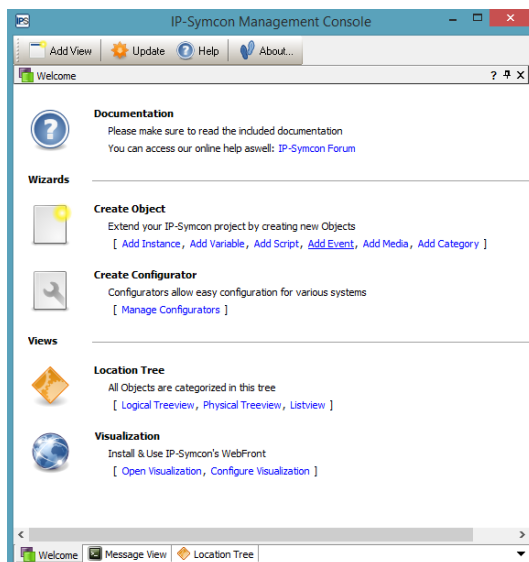


Figura 30. IP-Symcon: Pantalla de inicio

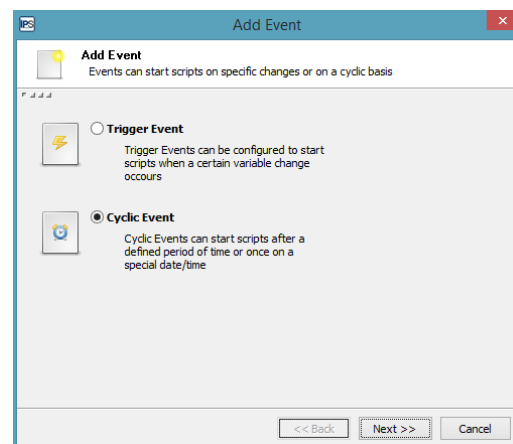


Figura 31. IP-Symcon: Ejecución automática de scripts

El programa puede ser ejecutado tanto en inglés como en alemán. Sin embargo, la documentación únicamente se encuentra en alemán [34]. Por este motivo, se han explicado con cierto detalle mediante capturas de pantalla algunos aspectos sobre la configuración del programa. Existe un foro con gran actividad, si bien también está en alemán [35].

La instalación del programa resulta sencilla, no obstante, en Windows Vista la ejecución del código en PHP no soportaba ciertas funciones. Esto es debido a que el documento de la carpeta general php.ini que marca algunos parámetros de inicio para la ejecución de scripts en PHP estaba vacío. Se instaló el programa en el sistema operativo Windows 8 y se copió el siguiente código en el documento php.ini:


```
[PHP]
max_execution_time=30

error_reporting=E_ALL

memory_limit=32M

register_globals=off

extension_dir="C:\Users\Alejandro\Desktop\IP-Symcon\ext"

auto_prepend_file="C:\Users\Alejandro\Desktop\IP-
Symcon\scripts\__autoinclude.inc.php"

extension = php_bz2.dll
extension = php_com_dotnet.dll
extension = php_curl.dll
extension = php_exif.dll
extension = php_fileinfo.dll
extension = php_gd2.dll
extension = php_gettext.dll
extension = php_gmp.dll
extension = php_imap.dll
extension = php_mbstring.dll
extension = php_mysql.dll
extension = php_mysqli.dll
extension = php_pdo_mysql.dll
extension = php_pdo_odbcc.dll
extension = php_pdo_pgsql.dll
extension = php_pdo_sqlite.dll
extension = php_pgsql.dll
extension = php_soap.dll
extension = php_sockets.dll
extension = php_sqlite3.dll
extension = php_tidy.dll
extension = php_xmlrpc.dll
extension = php_xsl.dll
```

Destacan la inicialización de las siguientes variables:

- `max_execution_time`: Número máximo de segundos de ejecución del script. Evita que un programa mal programado esté consumiendo recursos.
- `memory_limit`: Número máximo de memoria en MB que puede utilizar el programa para el almacenamiento de variables y operaciones intermedias.
- `extension_dir`: Dirección en el ordenador de las extensiones .dll. El programa se ha instalado en el escritorio y nombre de usuario del PC es Alejandro.

Entre las extensiones instaladas destaca `php_gd2.dll`, que permite la manipulación de imágenes, que serán utilizadas en la creación de gráficas para la representación de la potencia en tiempo real.

La comunicación del programa IP-Symcon con el usuario se ha realizado a través de una interfaz web, que permitirá mostrar al usuario de una forma gráfica las salidas y decisiones llevadas a cabo por el programa IP-Symcon, así como configurar este programa.

El intercambio de información entre IP-Symcon y la interfaz web se ha llevado a cabo mediante archivos csv (comma separated values), que permiten un intercambio sencillo de información en forma de tabla en el que las columnas se separan por puntos y comas y las filas por saltos de línea.

CAPÍTULO 4:

PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN DE UNA RED RESIDENCIAL

Cuando se habla de protocolos de comunicación, suele establecerse una comparación con el Modelo OSI, una normativa estandarizada realmente útil debido a la existencia de una gran variedad de tecnologías, fabricantes y compañías en el mundo de las comunicaciones. Este modelo fue impulsado en los años 80 por la Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization, ISO), que representa aproximadamente a 130 países.

4.1 EL MODELO OSI

El modelo OSI distingue 7 capas, etiquetadas del 1 al 7, en la que la capa 7 representa la capa superior y la capa 1 la inferior. Este modelo jerarquiza una red de comunicaciones en siete capas en una progresión lógica: mientras que las capas más inferiores tratan señales eléctricas y paquetes de datos, las capas superiores cubren solicitudes de red, representación de datos y protocolos de red. Los niveles o capas en orden ascendente son: nivel físico, de enlace de datos, de red, de transporte, de sesión, de representación y de aplicación. Una breve descripción de cada nivel se muestra en la figura 32. Una explicación detallada sobre los diferentes niveles puede encontrarse en [36].



Figura 32. Niveles del modelo OSI

Cada capa será llamada en adelante genéricamente como capa N. La comunicación empieza cuando una entidad N+1, (perteneciente a la capa N+1), solicita los servicios a la entidad N, situada en la capa N. Dos entidades pertenecientes al mismo nivel interactúan a través del protocolo N mediante unidades de dato de protocolo (Protocol Data Units, PDU). La unidad de datos de servicio (Service Data Unit, SDU), se encarga de transmitir datos de una capa N a capa inferior N-1. Una SDU es una unidad de datos que una vez que han sido enviados a la capa inferior y encapsulados, se convierte en la PDU de esa capa.

En conclusión, la idea fundamental del modelo OSI reside en que aunque el proceso de transmisión de datos en un mismo sistema es vertical, la transmisión de información entre cada una de las capas de dos sistemas es horizontal. Los protocolos habilitan a una entidad de un sistema a interactuar con una entidad correspondiente a la misma capa de otro sistema. La figura 33 muestra la comunicación entre dos sistemas (host) según el modelo OSI.

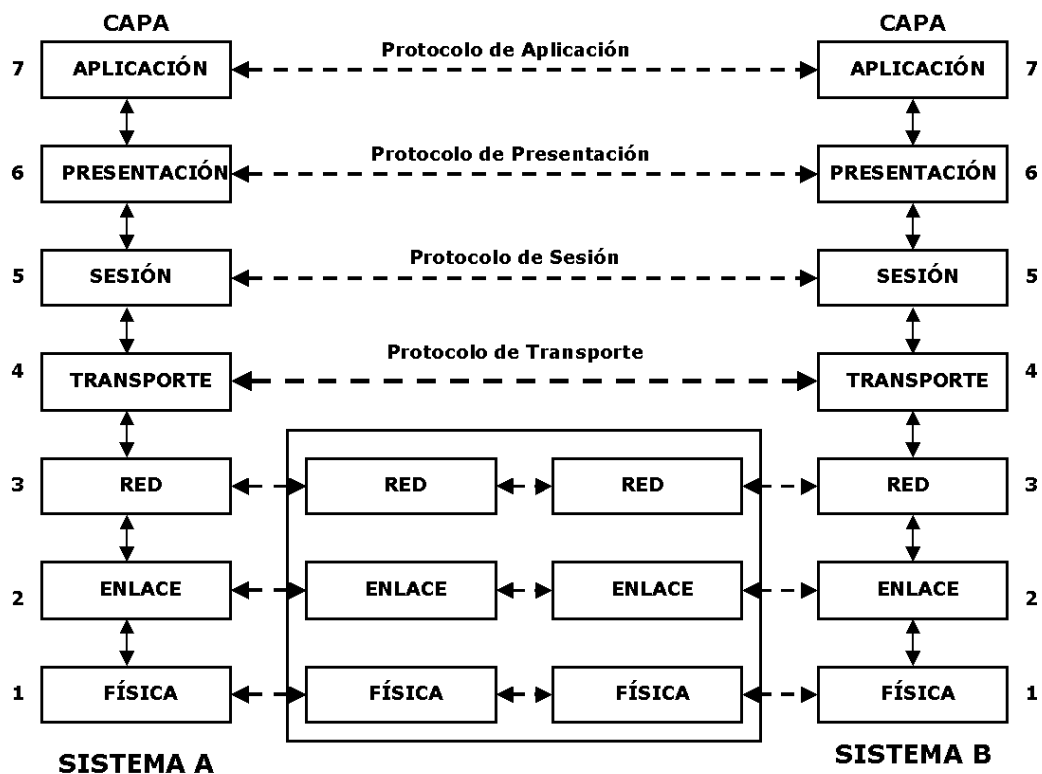


Figura 33. Comunicación entre dos sistemas según modelo OSI

Aunque el modelo OSI está aceptado como la más completa conceptualización de una comunicación ideal, muchos protocolos no implementan de manera completa todas las capas del modelo. Un ejemplo es el extendido protocolo de Internet TCP/IP, que se organiza en cuatro capas de abstracción, del nivel más bajo a más alto: capa de enlace, capa de Internet, capa de transporte y capa de aplicación. Debido a que el protocolo TCP/IP influyó en la elaboración del modelo OSI, en líneas generales en la práctica, el modelo TCP/IP está bien alineado con el modelo OSI.

Sin embargo, muchos sistemas de control y comunicación residenciales se han diseñado sin tener en cuenta la funcionalidad de las capas del modelo OSI. Tradicionalmente, los sistemas de automatización residenciales se han concedido como controles remotos y no como redes para la transmisión de datos, a pesar de que comunican datos digitales entre sistemas (por ejemplo entre microcontroladores).

Un ejemplo sería la transmisión de información en el ajuste de temperatura de un termostato a través de un mando a distancia. La figura 34 muestra cómo sería la comunicación entre estos dos dispositivos [37].

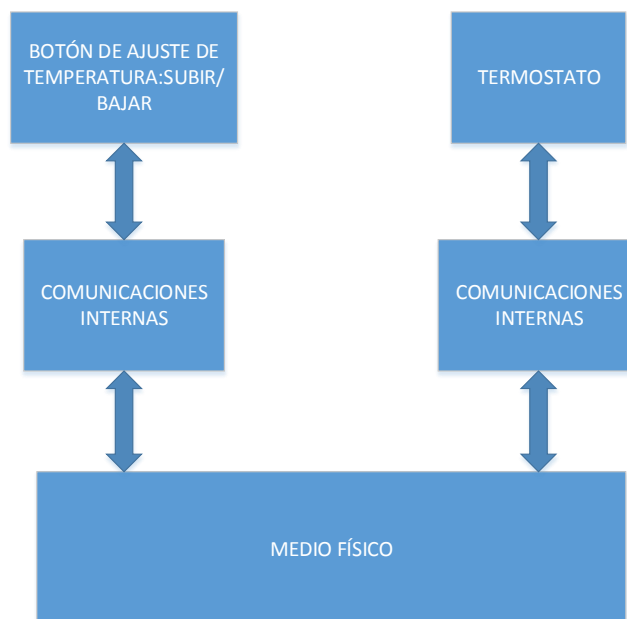


Figura 34. Modelo de comunicación en termostato.

Como se puede observar, no tiene similitud con el modelo OSI explicado. Como consecuencia de la falta de implementación de capas de enlace y una descripción de cómo los datos deben ser direccionados, resulta imposible en la práctica integrar diferentes dispositivos con este esquema en un mismo sistema de control.

Afortunadamente, conforme la automatización y tecnología residencial está siendo desarrollada e instalada por el consumidor, una gran parte de los protocolos están basados en el modelo OSI y están siendo estandarizados. Esto permitirá la integración de diferentes dispositivos con diferentes protocolos en una misma red.

Existen diferentes tecnologías y protocolos en la comunicación de redes residenciales. Una primera clasificación según el medio físico de transmisión de datos permite diferenciar entre tecnologías alámbricas (el medio es un cable) o inalámbricas (el medio es el aire).

Entre las tecnologías alámbricas, destacan HomePlug y X10, que utilizan la red eléctrica existente para establecer la comunicación (Power Line Carrier Communication, PLC), ya que se trata de un conductor eléctrico. Sin embargo, el cableado eléctrico no tiene en consideración la aparición de interferencias, ya que no suelen ser tan elevadas como para dañar el comportamiento de los equipos eléctricos. Esto lleva a que el tendido eléctrico no lleve un blindaje que aisle las interferencias externas y empalmes con la suficiente calidad como para que no provoque ruido ni atenuaciones.

La siguiente figura muestra la clasificación de las redes de comunicación residenciales con algunos ejemplos:

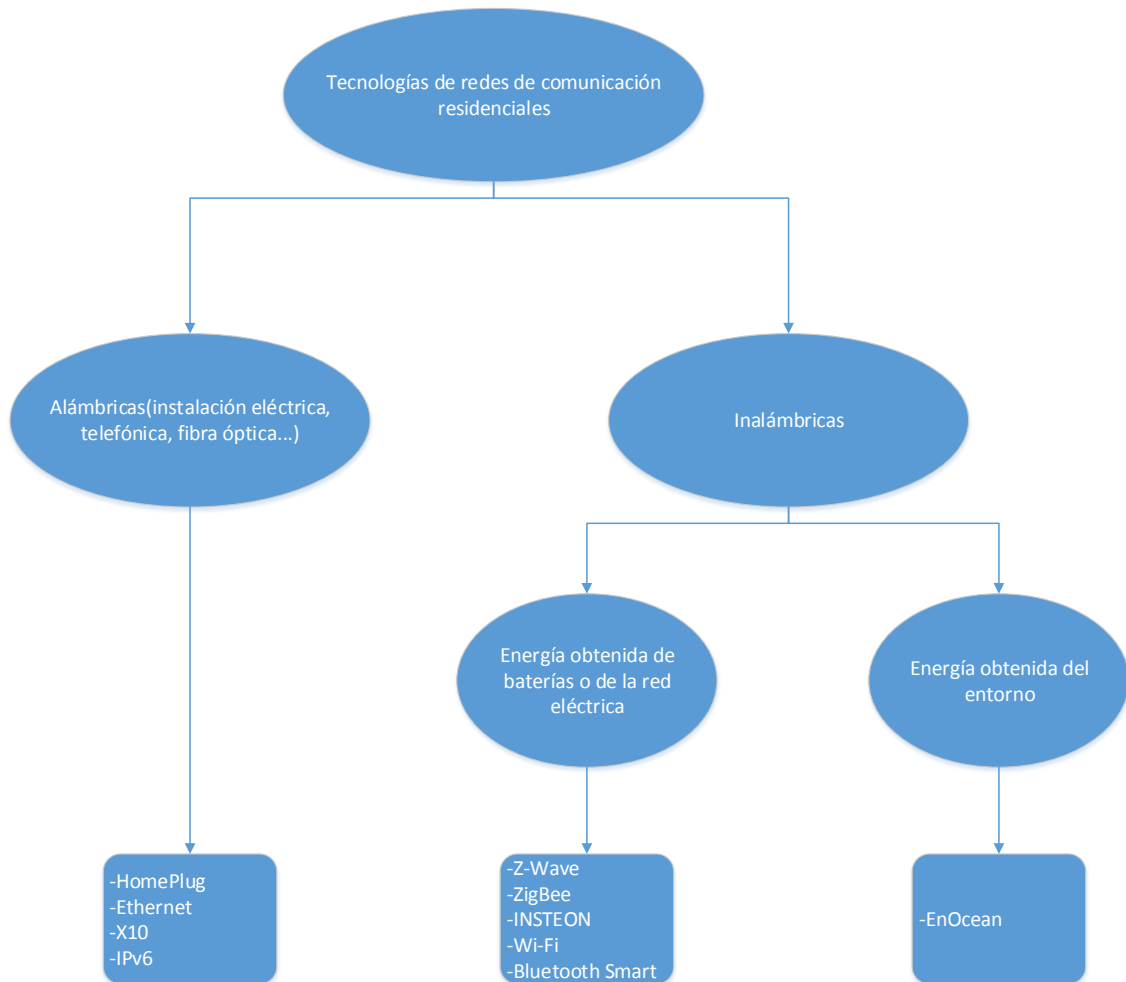


Figura 35. Clasificación de los protocolos de comunicación residenciales.

En este trabajo se han analizado los protocolos inalámbricos, debido a que las tecnologías de comunicación inalámbricas basadas en la fibra óptica o cable coaxial como Ethernet, permiten la transmisión de una gran cantidad de datos y una gran fiabilidad, sin embargo, tanto la instalación del cableado como los aparatos asociados, requieren un gran coste de instalación inicial. En cuanto a la comunicación a través del cableado eléctrico, no se ha analizado ya que limita la instalación de los dispositivos a las tomas de corriente, mientras que las tecnologías inalámbricas permiten el uso de baterías, por ejemplo en instalaciones de sensores de intensidad lumínica, ocupación y temperatura.

4.2 PROTOCOLOS INALÁMBRICOS

A continuación se presentan 6 protocolos inalámbricos que tienen una gran probabilidad de desarrollo en la integración de programas de respuesta de la demanda, ya que son adecuados para las aplicaciones residenciales. No se han especificado los costes de estas tecnologías, ya que son parecidos

4.2.1 Z-WAVE

El protocolo Z-Wave fue desarrollado explícitamente para el control de aplicaciones de control remoto. No tiene el reconocimiento de estándar internacional, aunque tiene el apoyo de Z-Wave Alliance [38], un consorcio de 250 empresas productoras líderes que están dedicadas a la interoperabilidad de los productos basados en la tecnología Z-Wave. Opera en la banda de 908,42 MHz en Estados Unidos y Canadá, usando otras frecuencias según la regulación de otros países. En Europa utiliza la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 868 MHz. La velocidad de transmisión de datos es de 9600 bits/s y 40 kbit/s, con distancias de transmisión hasta 100m en espacios libres y 30 m en interiores.



Figura 36. Logos Z-Wave y Z-Wave Alliance

Z-Wave forma una topología de red mallada (mesh networking), formada por hasta 232 dispositivos, en la que cada dispositivo es un nodo y puede servir de intermediario para direccionar los paquetes de datos que se envíen a otros nodos.

Se pueden distinguir dos tipos de dispositivos [39]:

- Controladores: Inician los comandos de control, pudiéndose comunicar con cualquier nodo de la red, ya que posee conocimientos de la organización de la red. En una red Z-Wave, únicamente puede existir un controlador primario, que es aquel que crea la red y tiene la capacidad de añadir y eliminar nodos de la red. El resto de controladores añadidos por el controlador primario se denominan controladores secundarios, los cuales no poseen la capacidad de añadir y eliminar nodos.

Además, los controladores se pueden clasificar en portátiles y estáticos:

- Controladores estáticos: No modifican su posición y deben de permanecer en todo momento alimentados, lo que les permiten recibir en cualquier momento información de los esclavos que no ha sido solicitada (por ejemplo recibir la temperatura de un esclavo cada 15 minutos).
- Controladores portátiles: Pueden cambiar su posición de la red. El sistema es capaz de determinar su localización y calcular la ruta óptima en la red. Existe un típico específico de esclavos que pueden mandar información no solicitada, pero deben de tener predefinida la ruta.
- Esclavos: Reciben los comandos de control de los controladores, los ejecutan y responden, pero no pueden intercambiar información de manera directa con otros esclavos.

4.2.2 ZIGBEE

Se trata de un conjunto de protocolos basados en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal Area Network, WPAN), diseñado para la transmisión de datos de poco tamaño con el fin de que las baterías de los dispositivos duren de meses a años [40]. Opera en las bandas ISM de 915 MHz en Estados Unidos, de 868 MHz en Europa y de manera general en la banda de 2,4 GHz, que es la banda libre en todo el mundo y la más elegida por las empresas que desarrollan los dispositivos ZigBee. El rango medio de alcance es de 50m.



Figura 37. Logos ZigBee y ZigBee Alliance

El estándar ZigBee ha sido desarrollado por la Alianza ZigBee [41], una organización nacida sin ánimo de lucro en el 2002 que adoptó el estándar IEEE 802.15.4 para las dos primeras capas del modelo OSI, es decir, la capa física y la subcapa de acceso al medio. ZigBee añade la capa de red y de aplicación para permitir funcionalidades de comunicación más avanzadas.

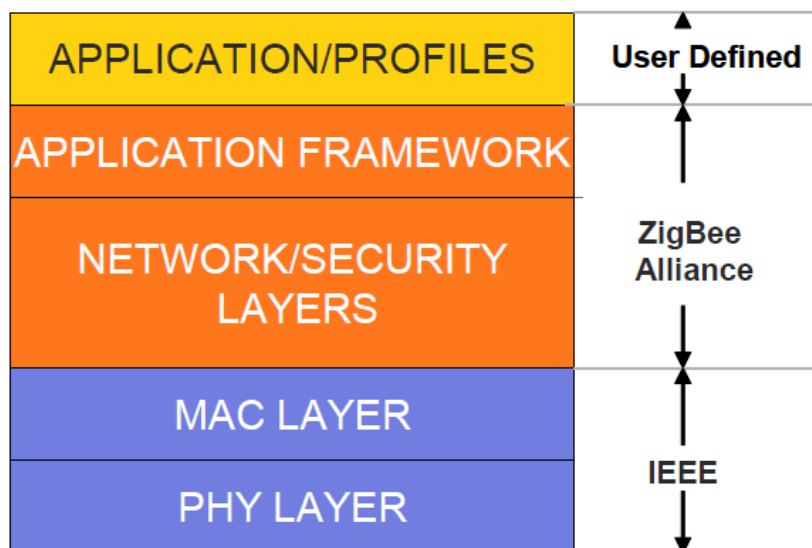


Figura 38. Capas del estándar ZigBee. Fuente [42]

ZigBee ha sido diseñado especialmente para tener las siguientes características [43]:

- Bajo consumo con una fácil implementación: El estándar ZigBee está especialmente pensado para proveer una larga duración a las baterías de los dispositivos. Esto se consigue mediante dos modos, uno activo y otro de latencia.
- Coste bajo: El coste bajo para los usuarios supone un coste económico tanto para el dispositivo y la instalación como para el mantenimiento. Los dispositivos ZigBee permiten utilizar baterías no recargables que gracias a su bajo consumo, pueden durar años (bajo coste y fácil instalación). Además, la redundancia de la red hace que el mantenimiento sea bajo.
- Alta densidad de nodos por red: El uso de las capas físicas y de acceso al medio del estándar IEEE 802.15.4 permite a las redes tener cualquier número de dispositivos. ZigBee tiene un espacio en las direcciones para 18.500.000.000.000.000.000 dispositivos (64 bits de direcciones) y permite 65.535 redes.

ZigBee es un protocolo asíncrono y half dúplex, en el que los paquetes de datos se direccionan de manera dinámica, ya que la red se organiza y repara de forma automática. Se trata de un protocolo seguro, ya que permite la implementación de encriptación y autenticación. Las velocidades de transmisión varían entre 20, 40 y 250 kbit/s.

Se pueden distinguir tres tipos de dispositivos en las redes ZigBee:

- Coordinador: Únicamente puede existir un coordinador por red. Su función reside en formar y gestionar la red. Guarda la información sobre la red, incluyendo las claves de seguridad.
- Router: Disponen de la capacidad de enviar, recibir y direccionar la información. Las redes ZigBee están diseñadas para transmitir la información a grandes distancias utilizando varios dispositivos como mensajeros. Tanto el coordinador como los dispositivos router deben de permanecer en modo encendido, ya que podrían ser mensajeros entre otros dispositivos, por lo que normalmente estarán conectados a la red eléctrica.
- Dispositivos finales: Pueden enviar y recibir información, pero al contrario que los router, no pueden ser mensajeros entre otros dispositivos de la red, lo que les permite estar en un modo de bajo consumo y despertarse cuando el dispositivo esté programado para enviar o recibir información. Los mensajes que les han sido enviados durante su estado de latencia son guardados en un router o coordinador al que está asociado. Esta característica hace que sean dispositivos de bajo consumo, por lo que están especialmente diseñados para alimentarse de baterías.

ZigBee soporta tres topologías de red:

- Topología en estrella (Star topology): La comunicación se establece entre dispositivos y un controlador central, denominado coordinador PAN (Personal Area Network). Generalmente, el coordinador estará alimentado de la red eléctrica mientras que el resto de dispositivos de baterías.
- Topología de malla (Mesh topology): En este tipo de topología hay también un coordinador PAN, pero a diferencia de la topología en estrella, cualquier dispositivo puede comunicarse con cualquier otro que esté dentro de su alcance.
- Topología en árbol: (Cluster Tree topology): Se trata de un tipo especial de topología punto a punto que combina la fiabilidad de la topología en malla con la ventaja de la gran cantidad de nodos alimentados con baterías de la topología en estrella.

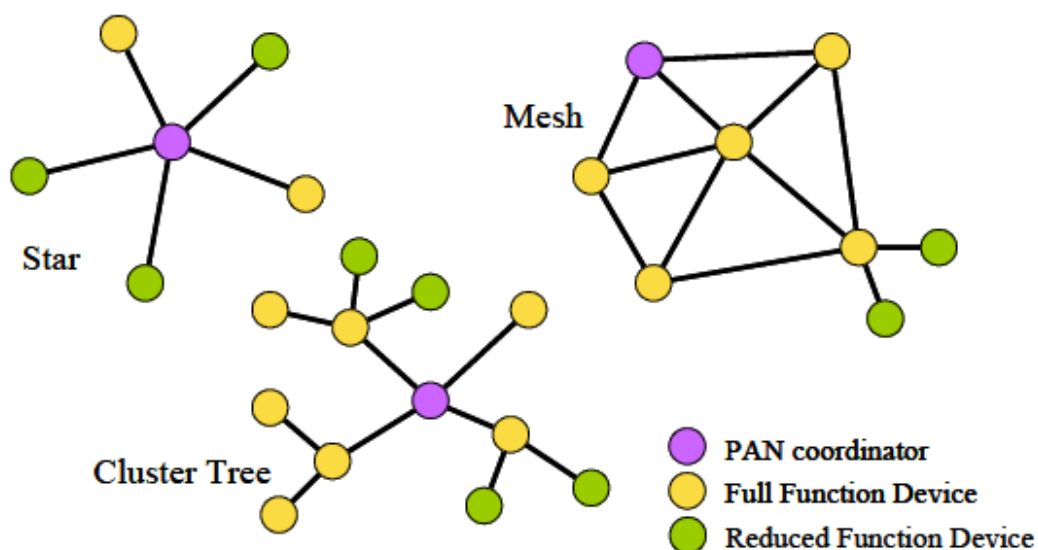


Figura 39. Topologías de la red ZigBee. Fuente [42]

Con el fin de reducir los costes de implementación de la red ZigBee, los dispositivos ZigBee se pueden distinguir físicamente en dispositivos con funcionalidades completas (Full Function Device, FFD) y dispositivos con funcionalidades reducidas (Reduced Function Device, RFD).

Los dispositivos RFD son construidos con los mínimos recursos de ROM y RAM necesarios, ya que están diseñados únicamente para enviar o recibir información y normalmente estar alimentados de baterías. Los dispositivos RFD únicamente se pueden comunicar con los dispositivos FFD, que poseen los suficientes recursos para direccionar el mensaje. Una red ZigBee requiere de al menos un dispositivo FFD.

4.2.3 ENOCEAN

Se trata de una tecnología inalámbrica usada principalmente en la automatización de sistemas de edificios, cuyos dispositivos son autoalimentados, por lo que no necesitan de una conexión a la red eléctrica ni de baterías para su funcionamiento. La energía es obtenida del ambiente mediante la transformación de energía térmica debido a la diferencia de temperatura, transformando la energía solar mediante placas fotovoltaicas o mediante la transformación de la energía cinética, por lo que pequeños cambios en el movimiento, presión, iluminación, temperatura o vibración son suficientes para alimentar a este tipo de dispositivos.

En 2012, el estándar de comunicación inalámbrica EnOcean fue ratificado como el estándar internacional ISO/IEC 14543-3-10, el cual define las tres primeras capas del modelo OSI, es decir, la capa física, la capa de enlace de datos y la capa de red. EnOcean Alliance [44] es la corporación sin ánimo de lucro que tiene el objetivo del desarrollo de productos bajo este protocolo.



Figura 40. Logos EnOcean y EnOcean Alliance

Las señales tienen un alcance teórico de hasta 300 metros en espacios abiertos y de 30 m en edificios. Los paquetes de datos enviados son relativamente pequeños, ya que tienen un tamaño de 14 bytes. La velocidad de transmisión es de 125 kbit/s. EnOcean opera en las frecuencias de 315 MHz, 868 MHz (Europa), 902,8 MHz (Estados Unidos) y 928,3 MHz (Japón) [45].

La transmisión de datos con la presencia de varios sensores es muy fiable, ya que el pequeño tamaño de los telegramas enviados por los módulos EnOcean permite implementar en la misma red una gran cantidad de dispositivos manteniendo fiable la transmisión. De hecho, la fiabilidad de transmisión con 100 sensores en la red permanece por encima del 99,99%, por lo que incluso en grandes edificios y plantas industriales, pueden operar simultáneamente un gran número de dispositivos EnOcean.

En la siguiente figura se puede apreciar como la tecnología EnOcean mantiene la fiabilidad de transmisión de datos incluso con gran cantidad de dispositivos:

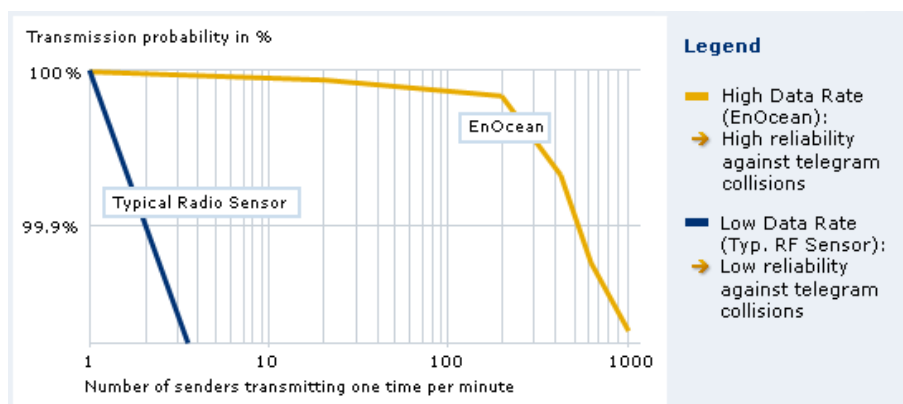


Figura 41. Fiabilidad de la transmisión con protocolo EnOcean. Fuente [46]

4.2.4 INSTEON

Este estándar fue creado por SmartLabs [47]. Las redes INSTEON combinan la transmisión de datos por radiofrecuencia inalámbrica con la transmisión de datos a través de la instalación eléctrica existente



Figura 42. Logo INSTEON

La topología de red es punto a punto, en la que cualquier dispositivo puede actuar como controlador (enviando mensajes), dispositivo final (recibiendo mensajes) o repetidor, a diferencia de otras redes, en la que únicamente ciertos dispositivos pueden actuar como repetidores [48]. La siguiente imagen muestra una red típica INSTEON:

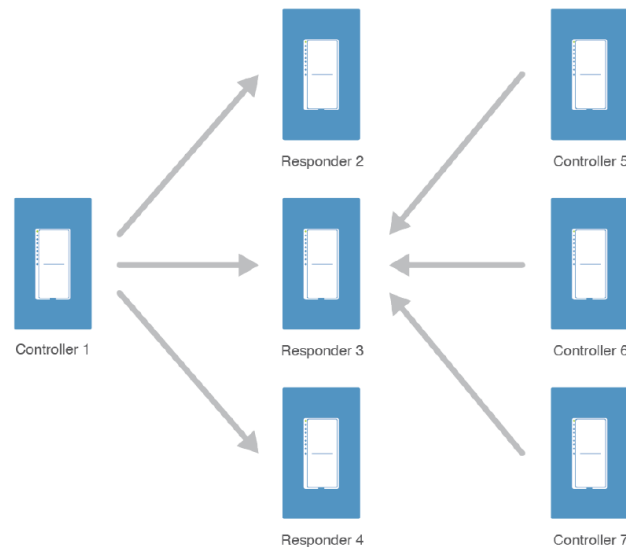


Figura 43. Topología de red INSTEON. Fuente [48]

Las velocidades de transmisión varían entre los 2,88kbit/s hasta los 38,4kbit/s. La longitud de las tramas puede ser de 10 bytes (estándar) o 24 bytes (extendido), en la que 3 bytes contienen información sobre el dispositivo que envió el mensaje y otros 3 bytes sobre la dirección del dispositivo al que va destinado el mensaje. Opera en las frecuencias de 915 MHz en Estados

Unidos, de 869,84 MHz en Europa y de 921 MHz en Australia. Su alcance en condiciones ideales es de 50 m.

4.4.5 WI-FI

Wi-Fi (Wireless Fidelity) es el nombre comercial con el que se conoce a la certificación que la Wi-Fi Alliance [49] otorga a los productos que garantizan la compatibilidad con otros productos basados en el estándar internacional IEEE 802.11 para redes de área local inalámbricas.



Figura 44. Logos Wi-Fi y Wi-Fi Alliance

El estándar IEEE 802.11 define los dos primeros niveles del modelo OSI, es decir, la capa física y la capa de enlace de datos, compuesta a su vez por el control de enlace lógico y control de acceso al medio.

Opera en las bandas de 2,4 y 5 GHz, alcanzando velocidades teóricas de 600 Mbps para el estándar 802.11n [14] y de 7Gbps para el estándar 802.11ac

La ventaja de este estándar reside en su expansión dentro de los hogares, pues no sería necesario incorporar un Hub o punto de acceso (Access Point) para controlar los dispositivos a través de un ordenador o smartphone.

Las distancias de transmisión de datos varían según la frecuencia utilizada, pudiéndose alcanzar distancias de 35 m en interiores y 100 m en exteriores.

Desde el punto de vista de la seguridad, Wi-Fi implementa la encriptación WPA y WPA-2, que provee una razonable seguridad para aplicaciones domésticas.

Las desventajas de la utilización de este estándar son dos para automatizaciones domésticas:

- Utiliza la frecuencia de 2,4 GHz, que es ampliamente utilizada por numerosos dispositivos, especialmente por las conexiones de ordenadores a internet.

- Consumo: Wi-Fi consume mucha más potencia comparado con otras tecnologías debido a que está diseñado para el envío de grandes paquetes de información, por lo que no es adecuado para dispositivos con baterías. En la figura 45 se puede observar como el consumo tanto en transmisión como en recepción mediante el protocolo Wi-Fi es mucho mayor que con los protocolos Bluetooth y ZigBee.

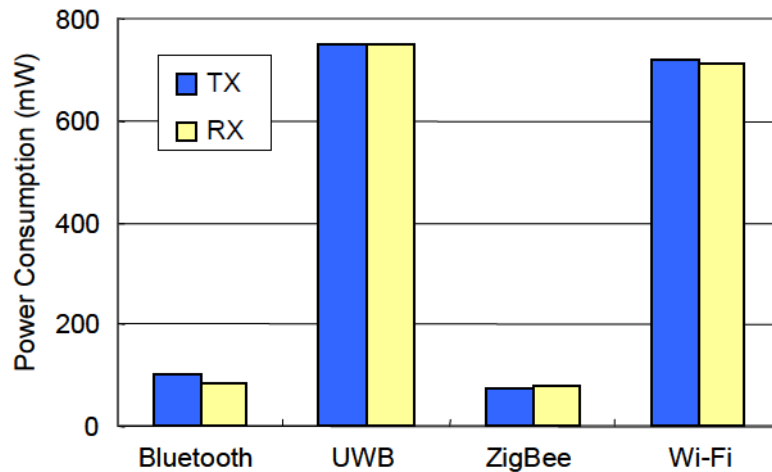


Figura 45. Comparación del consumo de diferentes protocolos. Fuente [50]

4.2.6 BLUETOOTH SMART

Bluetooth Smart, también conocido como Bluetooth Low Energy (BLE) es la característica distintiva del nuevo estándar Bluetooth 4.0 desarrollado por SIG (Bluetooth Special Interest Group), compuesto por más de 20000 compañías en las áreas de telecomunicación, informática y fabricantes electrónicos.



Figura 46. Logos Bluetooth Smart y Bluetooth Special Interest Group

Esta tecnología está especialmente diseñada para consumir menor energía que el estándar de Bluetooth clásico, pudiendo durar dispositivos con esta tecnología con pequeñas baterías de 2 a 14.1 años [51].

Bluetooth low energy opera en la frecuencia de 2,4 GHz, con una distancia de señal entre los 10 y 100m. Las velocidades alcanzadas con esta tecnología son de 1Mbps. Se pueden distinguir dos tipos de dispositivos [52]:

- Dispositivos Bluetooth Smart: Se trata de dispositivos que únicamente soportan la tecnología bluetooth low energy y están optimizados para un consumo mínimo.
- Dispositivos Bluetooth Smart Ready Devices: Soportan tanto la tecnología Bluetooth low energy como el Bluetooth clásico.

Se pueden distinguir 5 estados de operación en la capa de enlace de datos:

- Estado “standby”: No transmite ni recibe datos. Se puede llegar a este estado por cualquier otro.
- Estado “advertising”: Transmite datos con el fin de descubrir nuevos dispositivos o inicializar la conexión. Se llega desde el estado standby.
- Estado “scanning”: Espera los datos enviados por otros dispositivos en estado advertising. Se llega desde el estado standby.
- Estado “initiating”: Recibe los datos de un dispositivo específico y responde para iniciar la conexión con otro dispositivo. Se llega desde el estado standby.
- Estado “connection”: Se pueden distinguir dos tipos de funciones según se entre desde el estado initiating (maestro) o desde el estado advertising (esclavo).

La figura 47 muestra las relaciones expuestas entre los 5 estados posibles:

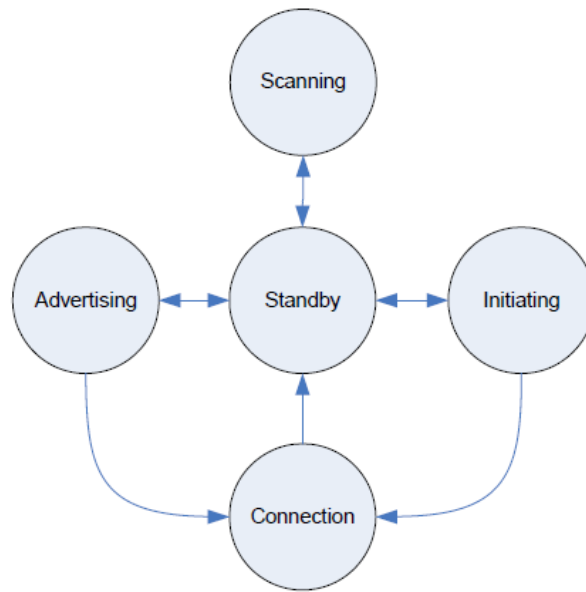


Figura 47. Estados de operación en protocolo Bluetooth Smart. Fuente [53]

4.2.7 RESUMEN Y PROTOCOLOS UTILIZADOS

La siguiente tabla resume algunas de las características de los 6 protocolos inalámbricos desarrollados para su comparación. Se han incluido algunas características como la modulación o el control de error.

Tecnología	Z-Wave	ZigBee	EnOcean	INSTEON	Wi-Fi	Bluetooth Smart
Frecuencia	868 MHz 908,42 MHz	868 MHz 915 MHz 2,4 GHz	315 MHz 868 MHz 902,8 MHz 928,3 MHz	868 MHz 915 MHz 921 MHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Modulación	FSK/GFSK	BPSK	FSK	FSK	FHSS	FHSS
Control de Error	CRC (8 bit)	CRC (16 bit)	CRC (8 bit)	CHEKSUM	CRC (32 bit)	CRC (16 bit)
Rango	30-100 m	10-100 m	30-300 m	45 m	35-100 m	10-100 m
Tamaño de red	232	64000	-	256	2007	8
Consumo eléctrico	Bajo	Muy Bajo	Nulo (Exterior)	Medio	Alto	Bajo

Tabla 1. Comparativa de protocolos de comunicación

En este trabajo se han utilizado 3 de los 6 protocolos expuestos. Z-Wave y ZigBee son los protocolos más extendidos para aplicaciones domóticas en Estados Unidos, contando con un amplio número de dispositivos, por lo que se han elegido estos dos por esta razón, unido a su bajo consumo. Se ha utilizado la tecnología Wi-Fi para la conexión del ordenador a Internet y para la creación de una red local. Además, se han utilizado dispositivos con el protocolo FS20, que se explicará en otro apartado debido a la decadencia actual en su uso.

CAPÍTULO 5:

SISTEMAS DE MEDICIÓN (ADVANCED METERING INFRAESTRUCTURE, AMI)

Los contadores inteligentes que están siendo instalados actualmente permiten la medida del consumo eléctrico en tiempo real, enviando teóricamente a la compañía eléctrica los datos medidos utilizando como medio físico de comunicación la red eléctrica (Power Line Carrier Communication, PLC). Esto permite a las compañías eléctricas realizar las facturaciones basadas en lecturas reales y no estimadas, posibilitando la potencial aplicación de programas de respuesta de la demanda.

Sin embargo, actualmente el consumidor residencial no es capaz de visualizar en tiempo real su consumo, por lo que no es capaz de realizar una gestión eficiente de su consumo eléctrico, uno de los objetivos principales de la política energética señalada por la Directiva de la Unión Europea 2009/72/CE [24], ni de responder adecuadamente a programas de respuesta de la demanda, dispuesto en el artículo 15.8 de la Directiva 2012/27/UE [14]. Esta es una de las razones por las que España se encuentra en último lugar en la implantación de programas de respuesta de la demanda y la aplicación del artículo 15.8 de dicha Directiva, a pesar de la gran inversión que se está realizando en la instalación de los contadores inteligentes.

Para obtener el consumo en tiempo real para el usuario residencial, se han explorado diferentes soluciones.

5.1 INSTALACIÓN DE CONTADOR PROPIETARIO TRIFÁSICO EN CUADRO ELÉCTRICO

Se ha elegido el contador de energía activa para carril DIN Voltcraft DPM 3I85-D [54]. Se trata de un contador trifásico con neutro, ya que las dos viviendas objeto de estudio estaban alimentadas con circuitos trifásicos. Se trata de un medidor con exactitud clase B, es decir, un +/- 1%. La intensidad máxima soportada es de 85 A, apto para prácticamente la totalidad de las viviendas.



Figura 48. Contador trifásico Voltcraft.

En su parte inferior tiene la entrada y salida de las tres líneas, mientras que en su parte superior dispone en su parte derecha de la entrada y salida del neutro. La siguiente figura muestra las conexiones:

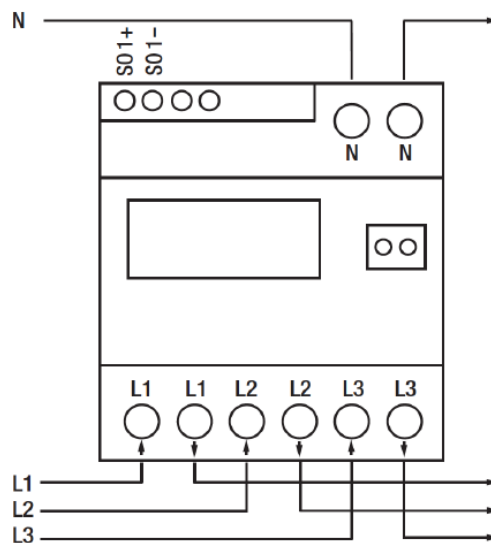


Figura 49. Conexiones del contador Voltcraft trifásico.

En la figura 50 se pueden observar los componentes del cuadro eléctrico de las viviendas en las que se han instalado los contadores. En el carril superior a la izquierda se encuentra el interruptor diferencial, a su derecha el interruptor automático para el equipo de aire acondicionado/bomba de calor y en el carril inferior 4 interruptores automáticos para los diferentes circuitos de la vivienda.



Figura 50. Cuadro eléctrico

El contador se ha instalado en el carril superior, junto al interruptor automático. Para realizar las conexiones se han quitado todos los cables entre la salida del interruptor diferencial y la entrada de los 5 interruptores automáticos. Se han conectado las tres fases del diferencial y el neutro con las entradas del contador, mientras que las salidas han sido conectadas a los interruptores automáticos de la misma manera que estaban conectadas al interruptor diferencial. Se ha utilizado cable de cobre con recubrimiento de policloruro de vinilo (PVC).

La sección de los conductores instalados ha sido de 6 mm^2 , que cumple con el reglamento de baja tensión para instalaciones interiores. Las intensidades máximas admisibles de los conductores están indicadas en la norma UNE 20.460-5-523:2004 [55] y quedan recogidas en la ITC-BT-19 [56] para temperatura del aire de 40°C . No se han considerado factores de corrección y se ha elegido el método C como el más adecuado (Cables multiconductores directamente sobre la pared), lo que indica una intensidad admisible de 36 A, suficiente, pues el interruptor diferencial tiene una intensidad nominal de 25 A.

5.1.1 LECTURA DE LA POTENCIA CONSUMIDA Y TEMPERATURA

El contador dispone de una pantalla LCD, que muestra la energía eléctrica consumida desde su instalación, con una precisión de centésimas de kWh. Además, posee dos salidas, una eléctrica y otra óptica.

La salida eléctrica se encuentra en la parte superior izquierda del contador (figura 49), marcado con S0 1+ y S0 1-. El voltaje máximo es de 30 V y la corriente máxima de 30 mA. Tiene una precisión de 500 Imp/kWh y es producida gracias a un optoacoplador, como se muestra en la siguiente figura:

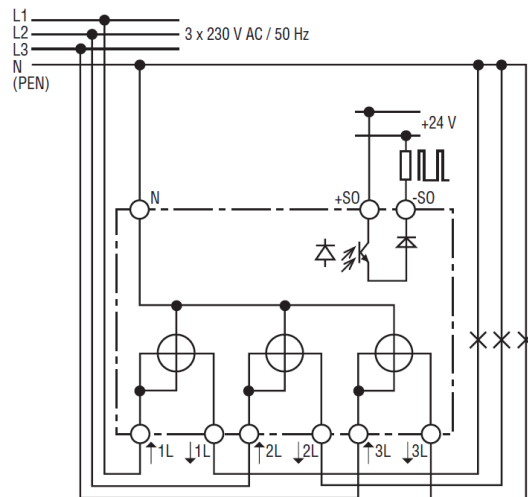


Figura 51. Conexiones de un contador trifásico. Fuente [57]

La salida óptica es un diodo LED con una precisión de 5000 Imp/kWh, 10 veces mayor que la salida eléctrica, por lo que se ha decidido escoger esta.

La salida óptica se ha recogido a través de un sensor LDR (Light Dependent Resistor), es decir, una resistencia que es capaz de variar su valor según el número de fotones que inciden sobre ella, debido a que está constituida por un semiconductor, el cual absorbe la energía de los fotones para pasar los electrones a la banda de conducción. Cuantos más fotones inciden sobre el sensor LDR, más electrones tendrá en la banda de conducción y mejor será su conductividad eléctrica, por lo que disminuye su resistencia.

La lectura del sensor LDR se ha realizado a través de una placa Arduino Uno [58]. Se trata de una placa basada en el microcontrolador ATmega328, con 14 pines de entrada/salida digitales y 6 entradas analógicas, con una intensidad máxima admisible por pin de 40 mA. Tiene una frecuencia de reloj de 16 MHz y una memoria Flash de 32 kB.

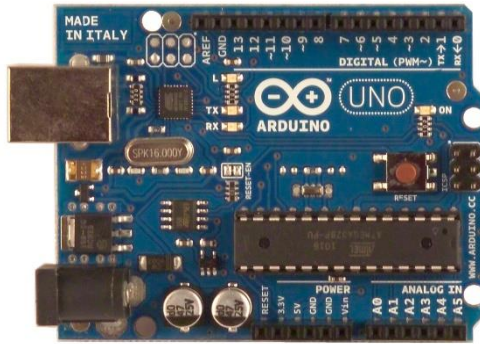


Figura 52. Placa Arduino UNO. Fuente [58]

La lectura del sensor LDR se ha realizado a través del pin analógico A2. Esta clase de entradas tienen un convertor analógico-digital con resolución de 10 bits, retornando valores enteros entre 0 y 1023.

Se ha conectado un extremo del sensor LDR a 5 V y se ha medido el voltaje en el otro extremo, donde se ha conectado en serie una resistencia de 1000 Ω para limitar la corriente cuando el sensor LDR tenga resistencia baja debido a la alta iluminación. Despreciando la resistencia del sensor LDR, la intensidad máxima que circulará será de 5 mA, inferior a los 40 mA admisibles por la placa:

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{V}{R_{m\acute{i}n}} = \frac{5}{1000} = 5 \text{ mA}$$

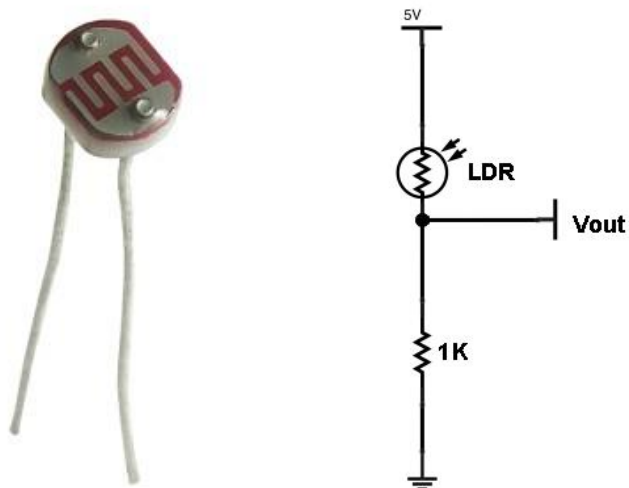


Figura 53. Sensor LDR y conexión.

Se ha añadido además un sensor de temperatura para monitorizar la temperatura interior de la vivienda. Se trata del sensor de temperatura LM335, fabricado por Texas Instruments [59], un

sensor analógico que funciona de manera similar a un diodo Zener cuyo voltaje de ruptura es directamente proporcional a la temperatura con una proporción de 10mV/K. Está calibrado en grados Kelvin y tiene un rango de operación entre los 233,15 K a los 373,15 K, es decir, entre -40 y +100 °C.

Se ha colocado una resistencia de 1000 Ω en serie para limitar la intensidad máxima teórica a 5 mA. En condiciones estándar de temperatura en la vivienda (25 °C) la caída de voltaje en el sensor de temperatura será de 2,98 V. La intensidad que circulará será entonces de 2 mA, inferior a la máxima admisible por la placa (40 mA) y adecuada para el sensor LM335 (intensidad de operación entre 0,4 y 5 mA).

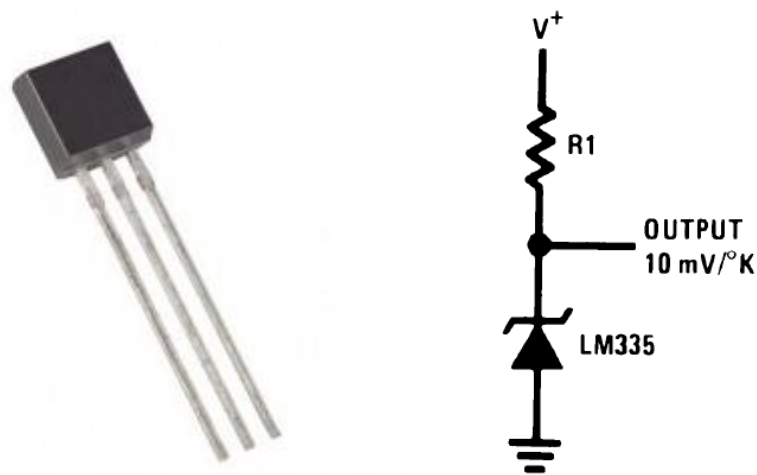


Figura 54. Sensor de temperatura LM335 y conexión. Fuente [59]

La conexión del sensor de temperatura se ha realizado al pin analógico A4. La temperatura en grados kelvin ha sido calculada leyendo el pin A4 (que da valores entre 0 y 1023, que corresponde al intervalo 0-5V) y teniendo en cuenta la linealidad 10mV/K:

$$T(K) = \frac{5}{1024} \cdot \frac{1000}{10} \cdot lectura_{pinA4} = 0,48828 \cdot lectura_{pinA4}$$

La figura 55 muestra un esquema de las conexiones realizadas en la placa Arduino:

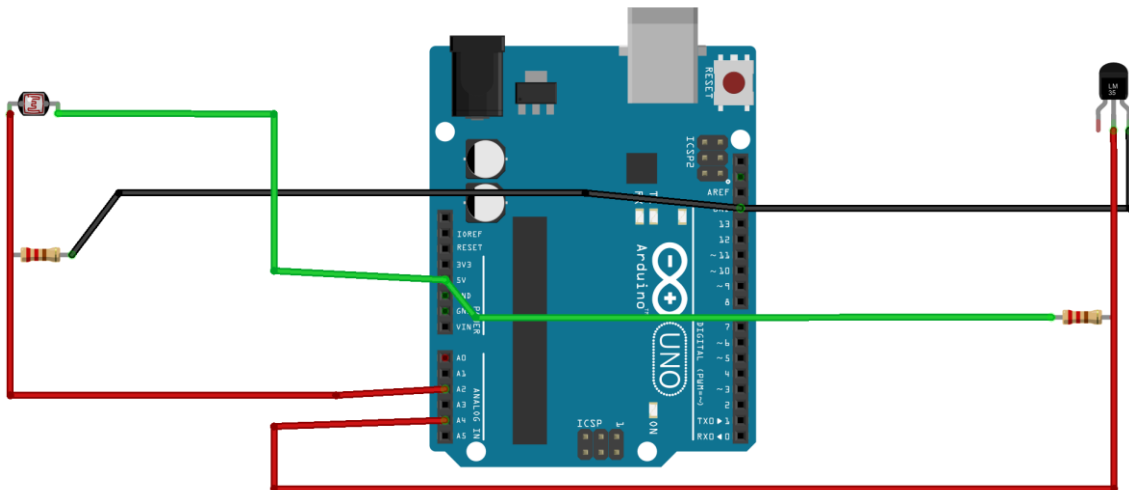


Figura 55. Conexiones en placa Arduino UNO.

No se ha calibrado el sensor de temperatura, ya que se hizo la prueba de medición de temperatura de agua en estado sólido en descongelación y de temperatura ambiente con un termopar calibrado y las lecturas fueron correctas, teniendo en cuenta que la sensibilidad leída con el sensor es de casi 0,5 °C.

5.1.2 PROGRAMACIÓN DE LA PLACA ARDUINO UNO

El microcontrolador ha sido programado de forma que está continuamente obteniendo los datos del sensor LDR, que se ha aislado de toda luz exterior, de tal manera que cuando su valor supera el límite 100 (puede tener valores comprendidos entre 0 y 1023) se ha comprobado experimentalmente que el LED está encendido.

El programa calcula entonces la duración entre los pulsos y se obtiene la potencia instantánea, ya que cada pulso indica un consumo eléctrico de 0.2 Wh (5000 Wh/Imp), donde se ha tenido en cuenta el paso de horas a segundo y de milisegundos a segundos:

$$Potencia(W) = \frac{0.2}{duración(ms)} \cdot 3600 \cdot 1000$$

Se ha medido la temperatura cada 20 mediciones de la potencia, es decir, cada 4 Wh. De media, se han recibido casi dos medidas de temperatura cada minuto.

A continuación se muestra el código y un flujograma (figura 57):

```

#include <time.h>

// Inicialización de variables
int sensor          = A2;    // Sensor LDR
int sensibilidad    = 100;   // Sensibilidad
int lectura;          // Variable para almacenar la lectura
de datos
double pulsoPorkWh = 0.0002; //0.2Wh/Impulso
double W=0;         //Potencia
double kWh=0;      //Energía consumida desde inicio
boolean estado     = 0;     // Pulso alto/bajo
long numPulso      = 0;     // Número de pulso
float tiempoPulso, tiempoUltimo; // Tiempo para duración de pulsos
float duracion;
float tempK=0, tempC=0, valor=0;
int sensortemp=A4; //Sensor temperatura LM 335
int numPulsostemp=0;

//Inicialización del programa
void setup() {
pinMode(sensor, INPUT);
pinMode(sensortemp, INPUT);
Serial.begin(115200);
}

//Función principal
void loop() {

//Lectura del sensor LDR
lectura = analogRead(sensor);
if ((lectura > sensibilidad)&& (estado == 0)) {

// Nuevo pulso detectado, se llama a la función pulso
pulso();

//Envío de datos
Serial.print("p:");//Potencia
Serial.print(W, 3);
Serial.print(";e:");//Energía
Serial.print(kWh, 4);
Serial.print(";d:");//Duración
Serial.print(duracion, 0);
Serial.print(";n:");//Número de pulso
Serial.println(numPulso);

//Se establece el pulso en alto
estado= 1;

if(numPulsostemp>19){

//Lectura de temperatura cada 20 pulsos de potencia

```

```

    valor= analogRead(sensortemp);
    tempK = valor* 0.0048828125 * 100;    //Se lee la temperatura
    en Kelvin
    tempC = tempK - 273.15;    //De Kelvin a centígrado

    //Se envía el valor
    Serial.print("t:");//Temperatura
    Serial.println(tempC);
    numPulsostemp=0;
}
}
else if ((lectura > sensibilidad) && (estado == 1)) {

//Espera a que termine el pulso, mantiene el estado en alto.
estado = 1;
}
else {

//Espera un nuevo pulso, mantiene el estado en bajo
estado = 0;
}

//Espera 5ms
delay(5);
}

//Función pulso
void pulso() {

//Cálculo de la potencia y energía cuando se detecta un pulso
//Cálculo de la duración del pulso
tiempoUltimo = tiempoPulso;
tiempoPulso = millis();
duracion = (tiempoPulso - tiempoUltimo);

//Cálculo de la potencia y energía
if (duracion > 0) {
numPulso++;
numPulsostemp++;
W = (pulsoPorkWh/(duracion/3600))*1000000;
kWh = numPulso * pulsoPorkWh;
}
else {

//No se hace nada, la duración es demasiado pequeña.
}
}
}

```

La placa Arduino ha sido alimentada a través de un cable USB tipo A-B. La parte B ha sido conectada a la placa, mientras que la parte A ha sido conectada a un transformador de 220-5 V. Se ha utilizado un cargador de móvil para tal propósito. Para la conexión del transformador a la red eléctrica se ha colocado un enchufe hembra en paralelo con una de las fases y el neutro en la salida del interruptor diferencial (figura 56).

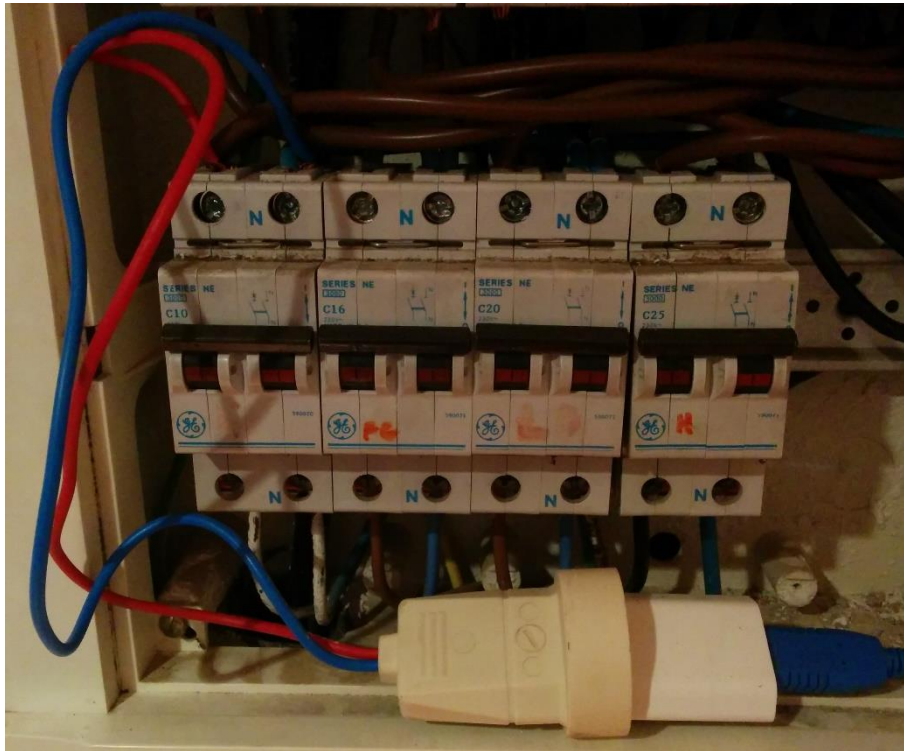


Figura 56. Alimentación de la placa Arduino

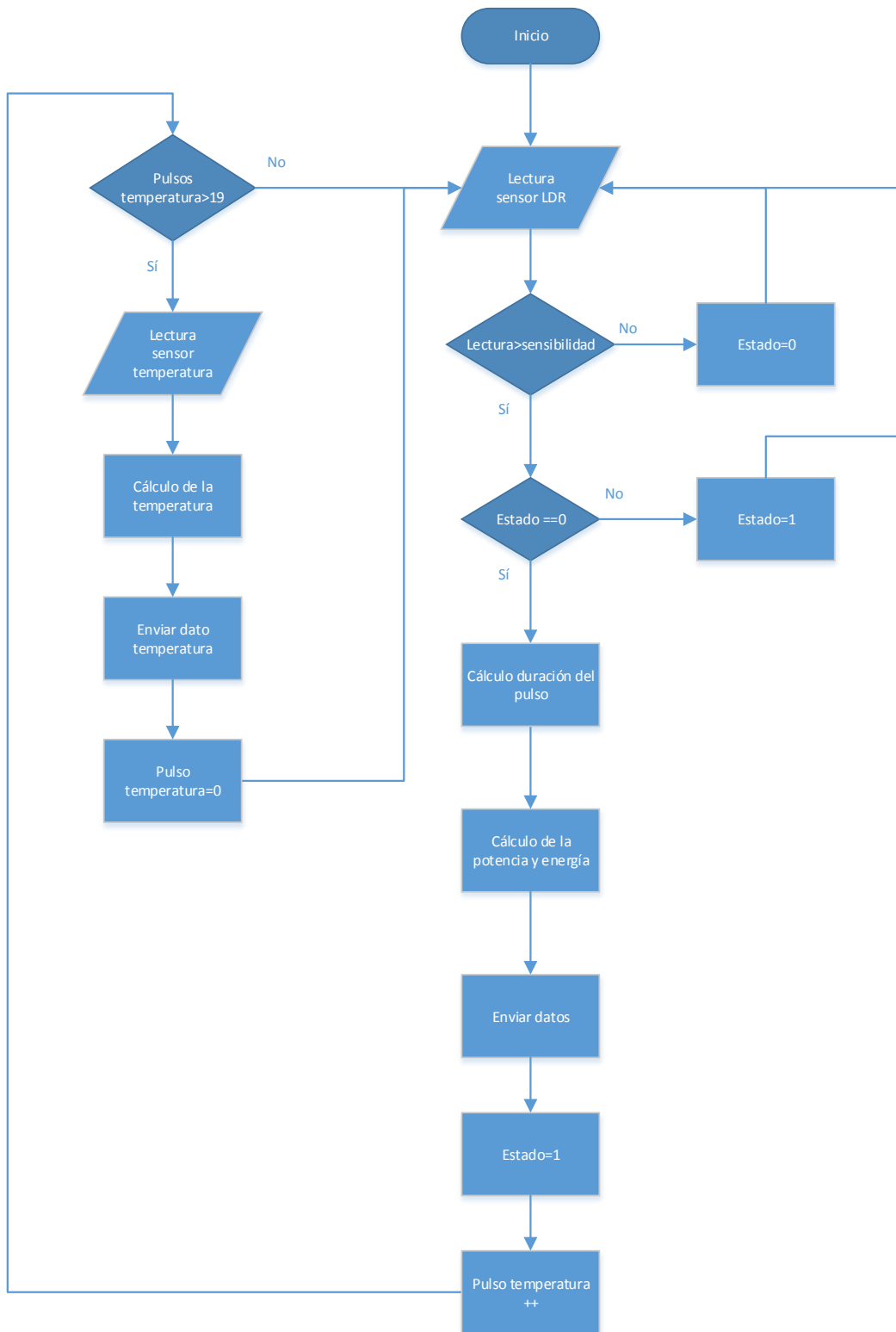


Figura 57. Flujograma del código implementado en la placa Arduino

5.1.3 COMUNICACIÓN AL PC

La transmisión de datos desde la placa Arduino hasta el PC se ha realizado mediante módulos XBee, fabricados por Digi International [60].

Se pueden distinguir dos tipos de módulos XBee: módulos XBee Serie1 y Serie 2. La serie 1 apareció en primer lugar y está basada en el protocolo IEEE 802.15.4, es decir, las dos primeras capas del modelo OSI, mientras que la serie 2 está basada en el protocolo ZigBee, que define además del protocolo IEEE 802.15.4, el resto de capas hasta la capa de aplicación. Debido a la utilización de diferentes capas, los modelos de la serie 1 y 2 no son compatibles. Además, la serie 1 únicamente permite configuraciones punto a punto, mientras que la serie 2 permite tanto conexiones punto a punto como redes con topología de malla.

Atendiendo a estos datos, se han elegido módulos de la serie 2, ya que permiten crear redes en malla, lo que permite tener distancias de alcance mayores, pues los datos van siendo direccionados a través de los módulos presentes en la red. Además, esta red se organiza automáticamente, por lo que podrían añadirse tantos módulos como se deseara de manera sencilla. Resulta útil en la práctica cuando la distancia del módulo que envía la señal de potencia del contador se encuentra a una distancia mayor de la que es capaz de recibir el módulo del PC. La integración de un nuevo nodo intermedio, por ejemplo un sensor de temperatura, luz o de detección de movimiento resolvería este problema y resulta además útil para la automatización de la vivienda.

Dentro de la serie 2 pueden distinguirse dos versiones, la estándar y la PRO. Ambas son idénticas en cuanto al protocolo de comunicación y configuración, la única característica que las distingue es su alcance. Mientras que la versión estándar puede llegar a tener un alcance en interiores de 40m y 120m en exterior, la versión PRO tiene un alcance teórico de hasta 90m en interiores y 3200 m en exterior [61]. El mayor alcance de la versión PRO supone un mayor consumo en el envío de datos. Mientras la versión estándar consume 40 mA en modo transmisión, la versión PRO llega a consumir 295 mA. El consumo en latencia y recepción es parecido.

Se ha escogido la versión PRO, debido a que la señal quería ser enviada entre dos viviendas diferentes y entre el cuadro de contadores y la vivienda.



Figura 58. Módulo Xbee PRO Serie 2

Se han necesitado dos módulos Xbee PRO Serie 2 para establecer la conexión punto a punto entre el microcontrolador y el PC.

Uno de los módulos es conectado al microcontrolador a través de un “shield”, el cual transforma el voltaje de 5V suministrados por la placa Arduino a los 3,3 V que deben ser suministrados al módulo Xbee.

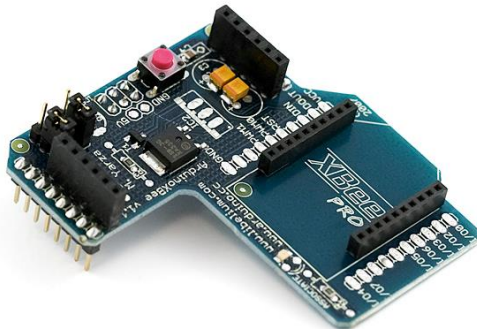


Figura 59. Shield para la integración de la antena Xbee

El otro módulo es conectado al PC mediante un componente denominado Xbee Explorer, a través de un puerto micro B USB. Este componente adapta la salida a 3,3 V y permite el envío y recepción de datos al PC, además de permitir la instalación de firmware a los módulos Xbee (los módulos Serie 2 definían hasta la capa de aplicación del modelo OSI).



Figura 60. Xbee Explorer USB

5.1.3.1 CONFIGURACIÓN DEL FIRMWARE

La configuración de los dos módulos se ha realizado mediante el programa X-CTU proporcionado por Digi International.

En primer lugar se establecen los baudios (velocidad de modulación de la señal) con la que se ha programado la placa Arduino, en este caso 115200 y se selecciona el puerto USB al que está conectado el Xbee Explorer:

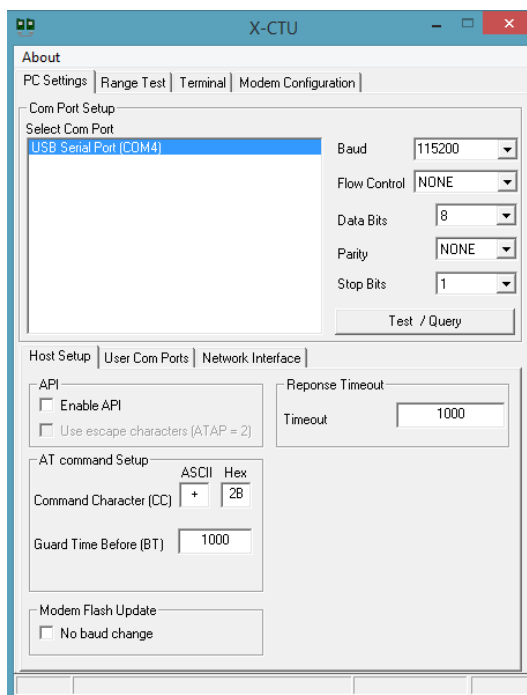


Figura 61. X-CTU: Selección de puerto USB y baudios

Para establecer una red ZigBee, debe existir al menos un coordinador, que será asignado a uno de los módulos. El resto de dispositivos de una red ZigBee, pueden ser router o dispositivos finales. El otro módulo se ha configurado como router.

Además, cada nodo debe de tener un identificador único de 64 bits, que viene grabado en su parte inferior. Los primeros 32 bits indican el fabricante, que en este caso es el mismo, mientras que los 32 últimos bits identifican al dispositivo. En la siguiente figura pueden observarse los números de identificación de los módulos utilizados.



Figura 62. Identificadores de los módulos XBee

Los módulos XBee poseen dos posibilidades de configuración:

- Modo AT: Se conoce como modo transparente. En este modo, cualquier información recibida por el módulo es enviada inmediatamente a la dirección de destino especificada. Este modo es útil cuando no se necesita un cambio de las direcciones de destino o para redes simples.
- Modo API: En este modo, en vez de enviar los datos inmediatamente, la comunicación es más compleja. Se establece mediante frames, es decir estructuras de datos en un orden establecido. Es útil cuando se tiene que enviar información a diferentes direcciones de destino, ya que permite determinar si el mensaje ha sido recibido adecuadamente y su dirección de origen. Además, este modo permite mandar comandos a otros módulos para configurarlos de manera remota.

Por tratarse de una red sencilla (únicamente dos nodos, configuración punto a punto), se ha elegido el modo AT, ya que mediante esta comunicación, no se añade prácticamente información, por lo que los módulos funcionan prácticamente como un puerto serie virtual, con un mínimo retardo en el envío de los paquetes de datos.

Los datos más importantes en la configuración de los módulos son los siguientes:

- Número de identificación de la red (PAN ID): Debe de ser el mismo para todos los nodos. Se ha elegido el 1234
- Dirección de destino: Se deben especificar en cada módulo la dirección del otro módulo con el que vamos a trabajar. Se deben de introducir los 64 bits: Los 32 primeros se introducen en “Destination Address High” y los 32 últimos en “Destination Address Low”.
- Identificación del módulo: Se introduce la dirección del módulo que estemos programando “Serial Number High” para los 32 primeros bits y “Serial Number Low” para los 32 últimos bits.

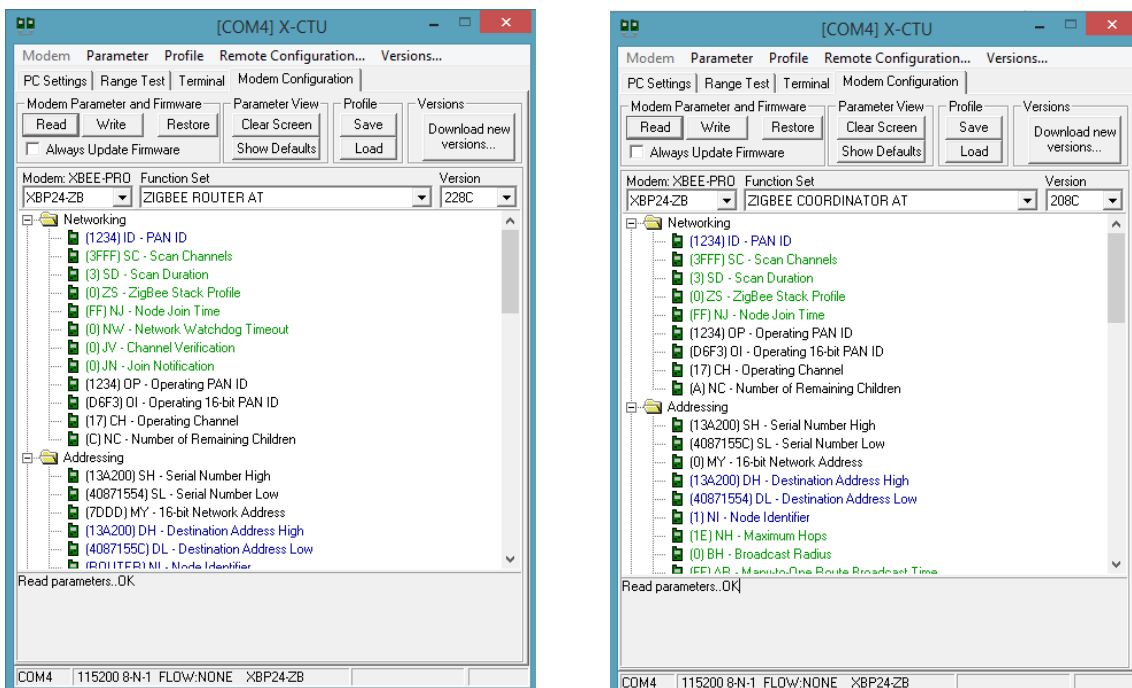


Figura 63. X-CTU: Configuración del firmware de los módulos XBee

5.1.3.2 INTEGRACIÓN EN IP-SYMCON

Se explica a continuación la configuración que hay que realizar en el programa IP-Symcon para recibir los datos a través del módulo XBee:

En primer lugar se crea un dispositivo de entrada/salida denominado “Serial Port”. Este componente recibirá los datos a través del puerto USB.

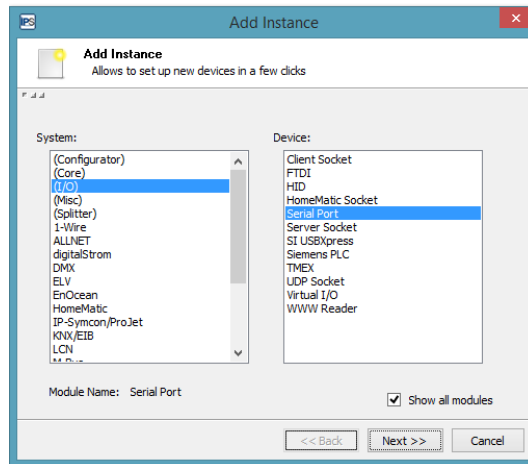


Figura 64. IP-Symcon: Serial Port

Se abre el puerto serie y se elige el adecuado (en este caso el módulo está en el puerto COM4). Se configuran los baudios a 115200, que es la velocidad de modulación establecida en la transmisión de la placa Arduino:

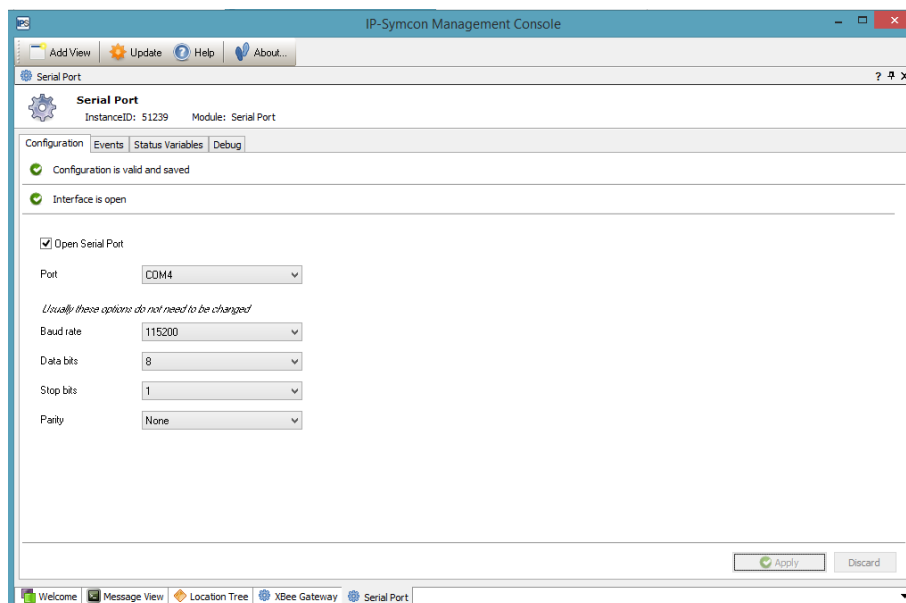


Figura 65. IP-Symcon: Configuración de Serial Port

Para la comunicación de los módulos debe de crearse el dispositivo “XBee Gateway” que se comunicará a través del puerto serie definido anteriormente. Finalmente, debe de crearse una variable que guarde los datos recibidos, definida en el programa como “Register Variable”.

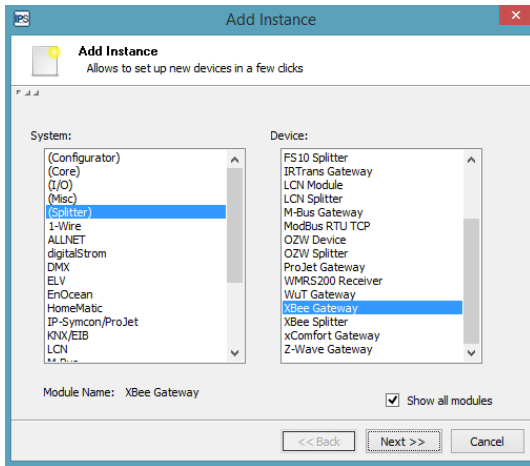


Figura 66. IP-Symcon: XBee Gateway

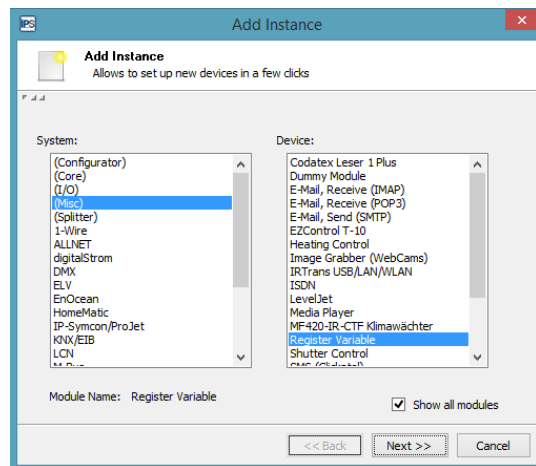


Figura 67. IP-Symcon: Register Variable

El componente Register Variable guardará los datos recibidos a través del puerto serie en la variable del sistema que se especifique. Para ello, se ha creado una variable tipo string:

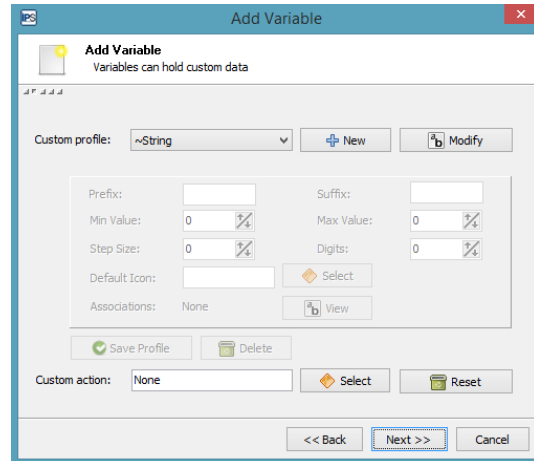
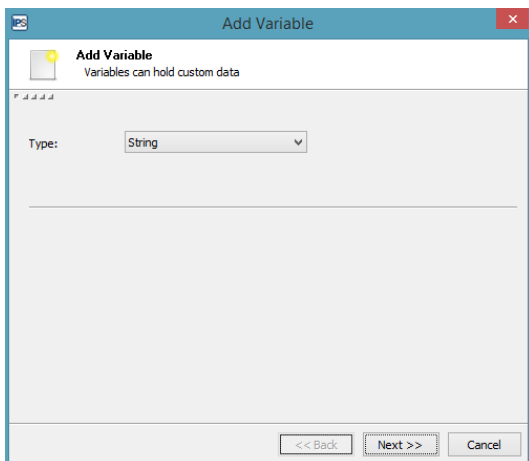


Figura 68. IP-Symcon: Formato de variable tipo string

Se ha habilitado el acceso a los datos de la variable y se ha denominado XBee.

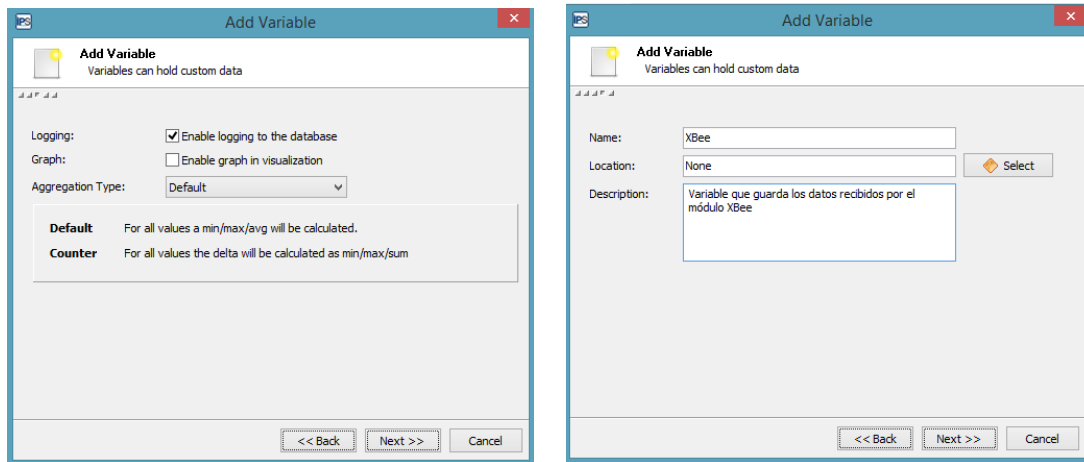


Figura 69. IP-Symcon: Variable string XBee

El componente “Register Variable” ha sido asociado a la variable XBee:

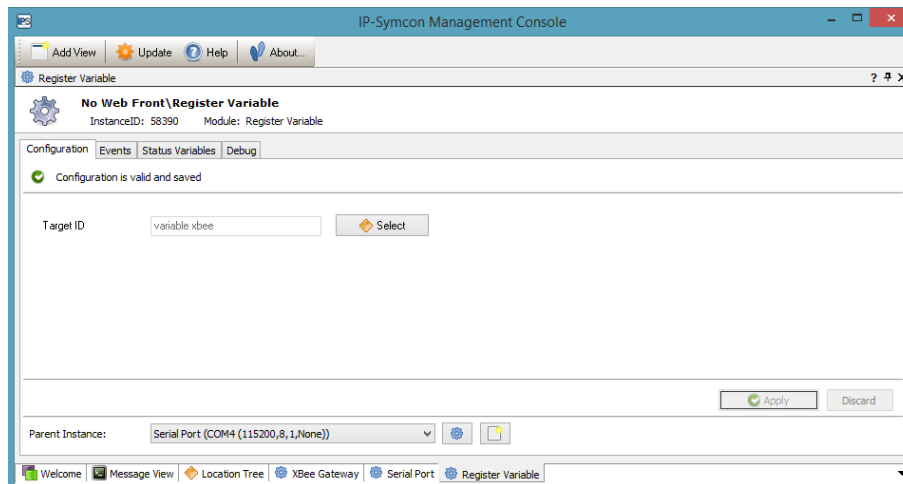


Figura 70. IP-Symcon: Guardar datos en variable XBee

Se debe incluir el siguiente código, que automáticamente recibe el valor del componente “Register Variable” y lo guarda en la variable XBee. Por tratarse de un script automático, no puede ser ejecutado manualmente, por lo que se muestra un mensaje en el caso de que así sea ejecutado y en ese caso se aborta la ejecución del código. Esto es debido a que la variable del sistema \$IPS_VALUE solamente contiene información en el momento que recibe datos a través del puerto serie.

```
<?php
if ($IPS_SENDER=="Execute") {
echo 'Este script es automático, no se puede ejecutar';
return;
}
$dataGuardar=$IPS_VALUE;
```

```
SetValue(44073/*Variable XBee*/, $datoGuardar);  
?>
```

5.1.3.3 SEPARACIÓN DE DATOS

La variable definida anteriormente está continuamente almacenando los datos recibidos por el módulo XBee. Estos datos hay que procesarlos, ya que uno de los problemas que surgió consistió en que los datos enviados como un único mensaje, eran recibidos como diferentes mensajes (el programa IP-Symcon está continuamente leyendo el puerto USB y algunos paquetes de datos si diferían milésimas de segundos eran guardados de forma separada). La figura 71 muestra los datos recibidos de forma separada, pues cada línea indica el valor guardado. Además, hay que distinguir los diferentes datos enviados por el microcontrolador en un mismo mensaje (potencia, energía, duración, número de pulso y temperatura).

Time	Value
13:10:51	0.5
13:10:56	334,d:5757
13:10:57	;n:2667p:125.392,e:0.5
13:11:02	336,d:5742
13:11:02	;n:2668p:
13:11:02	124.848,e:0.5
13:11:08	33
13:11:08	8,d:5767,n:2
13:11:08	669p:124.8
13:11:08	48,e:0.5
13:11:14	34
13:11:14	0,d:5767,n:2670p:124.611,e:...
13:11:20	342,d:5
13:11:20	778,n:2671
13:11:20	p:125.065,e
13:11:20	:0.5

Figura 71. IP-Symcon: Datos guardados de forma separada

Para solucionar estos dos problemas se ha creado un script asociado a la variable XBee, que es capaz de diferenciar los mensajes recibidos y guardar la potencia, energía consumida desde el inicio y temperatura en 3 variables tipo float creadas previamente y que se han denominado XBeePotencia, XBeeEnergía y XBeeTemperatura respectivamente.

Se ha decidido que los datos de potencia sean guardados de forma regular cada 4 segundos, para lo que se ha calculado la potencia media recibida en ese intervalo.

A continuación se presenta el código y una explicación de las líneas de código más relevantes:

```

1 <?php
2 $tiempo=time();
3 $num=0;
4 $potMedia=0;
5 $datos="";
6
7 $datoscontador=AC_GetLoggedValues(16661/*Archivo de
  datos*/,44073/*Variable XBee*/, $tiempo-4, $tiempo-1, 0);
8
9
10 for($i=0;$i<count($datoscontador);$i++){
11     $datos=$datoscontador[$i]['Value'].$datos;
12 }
13
14 $datosSeparados=explode("\n", $datos);
15 $sext=count($datosSeparados);
16
17 for($i=0;$i<$sext-1;$i++){
18     $dato=$datosSeparados[$i];
19
20     if($dato{0}=='p'){
21         $num++;
22         $datoexp=explode(';',$dato);
23         $datoexp2=explode(':', $datoexp[0]);
24         $potMedia+=$datoexp2[1];
25         $datoEn=explode(':', $datoexp[1]);
26     }
27
28     if($dato{0}=='t'){
29         $datoTemp=0.0;
30         $datoexp=explode(':', $dato);
31         $datoTemp=$datoexp[1];
32         $datoTemp/=1;
33         SetValue(40978/*Variable
  XBeeTemperatura*/, $datoTemp);
34     }
35
36 if($num!=0){
37     $potMedia/=$num;
38     SetValue(31985/*Variable XBeePotencia*/, $potMedia);
39     SetValue(35200/*Variable XBeeEnergía*/, $datoEn[1]/1);
40 }
41 ?>

```

- Línea 7: Se guarda en la variable \$datosContador los valores recibidos en 4 segundos por la variable XBee desde el segundo anterior a la ejecución del script, para evitar que durante la ejecución del script se pierdan datos que puedan estar recibándose.

- Líneas 10-12: Se concatenan todos los datos recibidos en los 4 segundos, para juntar todos los mensajes que han sido divididos en la recepción de los datos.
- Líneas 14-15: Se separan los mensajes recibidos, ya que al final de cada mensaje enviado por el microcontrolador se ha imprimido un salto de línea (\n) y se guarda en un array. Se guarda la dimensión de dicho array, que será el número de mensajes recibidos.
- Líneas 17-34: Se recorre el array guardado, para obtener los datos de potencia, energía y temperatura.
- Líneas 20-25: Se evalúa si el primer componente de la celda es el carácter 'p', lo que indica que el mensaje incluye los datos de potencia y energía. Los datos han sido enviados de la siguiente manera: p:"valor";e:"valor"; . En primer lugar se separa el dato por ';' para a continuación guardar los valores de la potencia y de la energía. Se cuenta el número de veces que se ha recibido la potencia en el intervalo de 4 segundos para realizar la media.
- Líneas 28-34: Se evalúa si el primer componente es el carácter 't', indicación de que el dato es de temperatura. Se divide entre 1 para pasar de tipo de variable string a float y se guarda el valor en la variable XBeeTemperatura.
- Líneas 36-40: Si se ha recibido algún dato de potencia, se calcula la potencia media y se guarda en la variable XBeePotencia, al igual que la energía en la variable XBeeEnergía.

5.2 INSTALACIÓN DE CONTADOR PROPIETARIO MONOFÁSICO EN CUADRO ELÉCTRICO

La mayor parte de las viviendas poseen una instalación eléctrica monofásica, así que se ha probado la instalación de un medidor monofásico en el cuadro eléctrico en el carril DIN. El contador utilizado ha sido el modelo Voltcraft DPM 1L32-D [62]. Se ha instalado en el circuito de iluminación, protegido por el interruptor automático inferior derecho de 10 A.

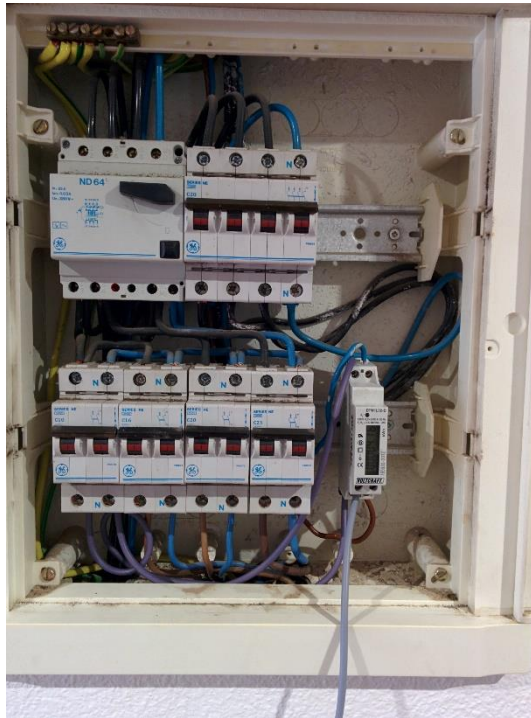


Figura 72. Instalación de medidor monofásico Voltcraft

El contador utilizado dispone, al igual que el contador trifásico anterior, de salida eléctrica y óptica. En este modelo, ambas tienen una precisión de 0,5 Wh/Imp.

En este caso se ha optado por la salida eléctrica, conectando los terminales del contador de salida eléctrica a los 5V suministrados por la placa Arduino. Se ha intercalado una resistencia de 1000 Ω , en la que se ha medido el voltaje entre sus extremos. Cada vez que el contador detecta un consumo de 0,5 Wh, el diodo optoacoplador permite el paso de corriente, por lo que se produce una caída de tensión en la resistencia, que es detectada por la placa Arduino. La figura 73 muestra las conexiones para la salida eléctrica y un dibujo sobre los pulsos enviados.

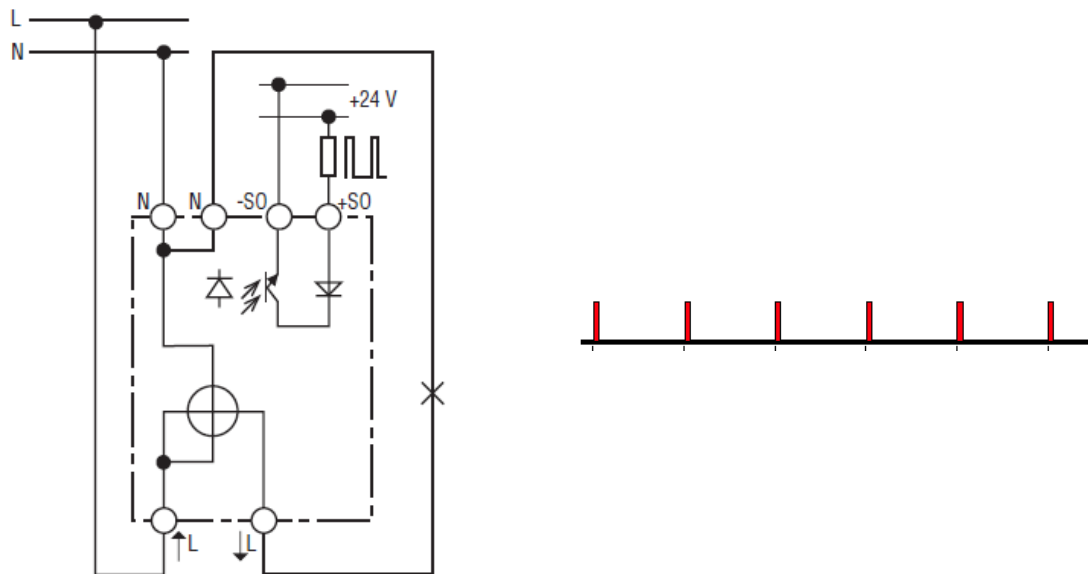


Figura 73. Conexión de contador monofásico Voltcraft y forma de pulso eléctrico.

La detección del impulso eléctrico es similar al impulso óptico. La placa Arduino está continuamente analizando el voltaje en la resistencia. Cuando éste es de aproximadamente 5 V, se detecta un nuevo pulso, que indica un consumo de 0,5 Wh. La única diferencia respecto a la salida óptica reside en que mientras que la lectura óptica era analógica (se medía la intensidad lumínica entre un valor de 0 y 1023), la lectura eléctrica sólo tiene dos estados posibles: estado alto (5V) y estado bajo (0V).

La placa Arduino dispone de pines digitales de entrada y salida, uno de los cuales se ha utilizado para la lectura eléctrica. El código ejecutado por el microcontrolador es similar al anterior, cambiando la precisión de la medición a 0,5 Wh/Imp y la entrada analógica del sensor LDR por una entrada digital. La lectura del pin digital devuelve un valor de HIGH o LOW, que es el que se ha analizado para detectar el pulso:

```
#include <time.h>

// Inicialización de variables
int voltaje      = 7;    //
int lectura;     // Variable para almacenar la lectura
de datos
double pulsoPorKWh = 0.0005; //0.5Wh/Impulso
double W=0;     //Potencia
double kWh=0;  //Energía consumida desde inicio
boolean estado  = 0;    // Pulso alto/bajo
long numPulso  = 0;    // Número de pulso
float tiempoPulso, tiempoUltimo; // Tiempo para duración de pulsos
float duracion;
```

```

float tempK=0, tempC=0,valor=0;
int sensortemp=A4; //Sensor temperatura LM 335
int numPulsostemp=0;

//Inicialización del programa
void setup() {
pinMode(voltaje, INPUT);
pinMode(sensortemp, INPUT);
Serial.begin(115200);
}

//Función principal
void loop() {

//Lectura del voltaje en resistencia
lectura = digitalRead(voltaje);
if ((lectura ==HIGH)&& (estado == 0)) {

// Nuevo pulso detectado, se llama a la función pulso
pulso();
//Envío de datos
Serial.print("p:");//Potencia
Serial.print(W, 3);
Serial.print(";e:");//Energía
Serial.print(kWh, 4);
Serial.print(";d:");//Duración
Serial.print(duracion, 0);
Serial.print(";n:");//Número de pulso
Serial.println(numPulso);
//Se establece el pulso en alto
estado= 1;

if(numPulsostemp>19){

//Lectura de temperatura cada 20 pulsos de potencia
valor= analogRead(sensortemp);
tempK = valor* 0.0048828125 * 100; //Se lee la temperatura
en Kelvin
tempC = tempK - 273.15; //De Kelvin a centígrado

//Se envía el valor
Serial.print("t:");//Temperatura
Serial.println(tempC);
numPulsostemp=0;
}
}

else if ((lectura == HIGH) && (estado == 1)) {

// Espera a que termine el pulso, mantiene el estado en alto.
estado = 1;
}
else {

```

```

// Espera un nuevo pulso, mantiene el estado en bajo
estado = 0;
}

//Espera 5ms
delay(5);
}

//Función pulso
void pulso() {

//Cálculo de la potencia y energía cuando se detecta un pulso
// Cálculo de la duración del pulso
tiempoUltimo = tiempoPulso;
tiempoPulso = millis();
duracion = (tiempoPulso - tiempoUltimo);

// Cálculo de la potencia y energía
if (duracion > 0) {
numPulso++;
numPulsostemp++;
W = (pulsoPorkWh/(duracion/3600))*1000000;
kWh = numPulso * pulsoPorkWh;
}
else {

//No se hace nada, la duración es demasiado pequeña.
}
}

```

5.3 OBTENCIÓN DEL CONSUMO DEL CONTADOR INTELIGENTE

Los contadores inteligentes instalados por las compañías eléctricas disponen igualmente de un diodo LED que indica el consumo eléctrico, por lo que el método descrito anteriormente es igualmente válido.

La alimentación de la placa Arduino en el cuadro de contadores no se ha podido tomar de la red eléctrica, ya que es un espacio comunitario, por lo que se ha decidido alimentar la placa mediante baterías recargables. La figura 74 muestra las baterías recargables utilizadas y la figura 75 el contador inteligente de la vivienda objeto de medición de la potencia. El LED se encuentra debajo de la pantalla LCD.



Figura 74. Batería recargable



Figura 75. Contador inteligente utilizado

El microcontrolador puede ser alimentado a través de un conector Jack con un voltaje entre 7 y 12V, por lo que se han utilizado dos baterías de 6V con una capacidad de 1.2 Ah en serie.

Debido a la utilización de baterías, el consumo eléctrico es crítico. Para ello, se ha eliminado la monitorización de la temperatura, ya que tiene un consumo constante de 2mA a temperatura ambiente, además del consumo debido a su transmisión. Se han eliminado también el envío de variables como la energía consumida desde el inicio (que puede ser calculada en el PC con la potencia y tiempo), el número de pulso y la duración.

El módulo XBee se ha programado de manera que esté en estado latente durante la mayor parte del tiempo, ya que el módulo XBee Pro tiene un consumo de 3,5 μ A en estado latente y de 295 mA en transmisión. Para ello, se ha configurado mediante el programa X-CTU para que esté en modo "sleep" durante todo el tiempo salvo cuando recibe una señal enviada por la placa Arduino, ya que este módulo no recibe en ningún momento datos de la red ZigBee.

El código del microcontrolador es parecido al anterior, quitando la lectura de temperatura y variables ajenas al cálculo de potencia. Además, se ha establecido la variable pulsoPorkWh en 0.002, ya que el contador inteligente tiene una sensibilidad de 2Wh por impulso.

```
#include <time.h>

// Inicialización de variables
int sensor          = A2;    // Sensor LDR
```

```

int sensibilidad      = 100;    // Sensibilidad
int lectura;          // Variable para almacenar la lectura de
datos
double pulsoPorkWh = 0.002; //2Wh/Impulso
double W=0;          //Potencia
boolean estado = 0;     // Pulso alto/bajo
float tiempoPulso, tiempoUltimo; // Tiempo para duración de pulsos
float duracion;

//Inicialización del programa
void setup() {
  pinMode(sensor, INPUT);
  Serial.begin(115200);
}

//Función principal
void loop() {

  //Lectura del sensor LDR
  lectura = analogRead(sensor);
  if ((lectura > sensibilidad)&& (estado == 0)) {

    // Nuevo pulso detectado, se llama a la función pulso
    pulso();

    //Envío de datos
    Serial.print("p:"); //Potencia
    Serial.print(W, 3);

    //Se establece el pulso en alto
    estado= 1;
  else if ((lectura > sensibilidad) && (estado == 1)) {

    // Espera a que termine el pulso, mantiene el estado en alto.
    estado = 1;
  }
  else {

    // Espera un nuevo pulso, mantiene el estado en bajo
    estado = 0;
  }

  //Espera 5ms
  delay(5);
}

//Función pulso: Calcula la potencia
void pulso() {

  // Cálculo de la duración del pulso
  tiempoUltimo = tiempoPulso;
  tiempoPulso = millis();
  duracion = (tiempoPulso - tiempoUltimo);
}

```

```
// Cálculo de la potencia y energía
if (duracion > 0) {
    W = (pulsoPorkWh/(duracion/3600))*1000000;
}
else {

    //No se hace nada, la duración es demasiado pequeña.
}
}
```

5.4 INSTALACIÓN DE CONTADOR PROPIETARIO Z-WAVE EN CUADRO ELÉCTRICO

Esta solución consta de dos componentes, un contador y un receptor. Ambos dispositivos han sido desarrollados por el mismo fabricante: Aeon Labs [63]. Utilizan el protocolo Z-Wave para su comunicación.

5.4.1 CONTADOR Z-WAVE HOME ENERGY METER

El contador Z-Wave Home Energy Meter 2nd generation [64] incluye una antena para comunicaciones inalámbricas Z-Wave de la potencia consumida en tiempo real.



Figura 76. Contador Z-Wave

Su instalación resulta más sencilla que las soluciones anteriores, ya que la intensidad de corriente es medida mediante unas pinzas amperimétricas, que pueden ser abiertas para su instalación, únicamente hay que colocar los cables de las tres fases en su interior. Esto permite que la instalación del cableado del contador ya no se realice en serie, sino en paralelo, ya que únicamente hay que realizar las conexiones eléctricas para medir el voltaje de fase. Para ello, se

han conectado cada uno de los 3 cables a una fase y al neutro. El medidor se ha dejado en el interior del cuadro eléctrico, ya que se ha comprobado que la señal es lo suficientemente potente para ser recibida por el PC situado en una habitación cercana en la misma vivienda. Si el cuadro eléctrico se encontrara en el exterior, no habría problema, pues el contador es resistente a la lluvia y nieve, reconocido por el estándar internacional IP43.



Figura 77. Detalles de la instalación del contador Z-Wave

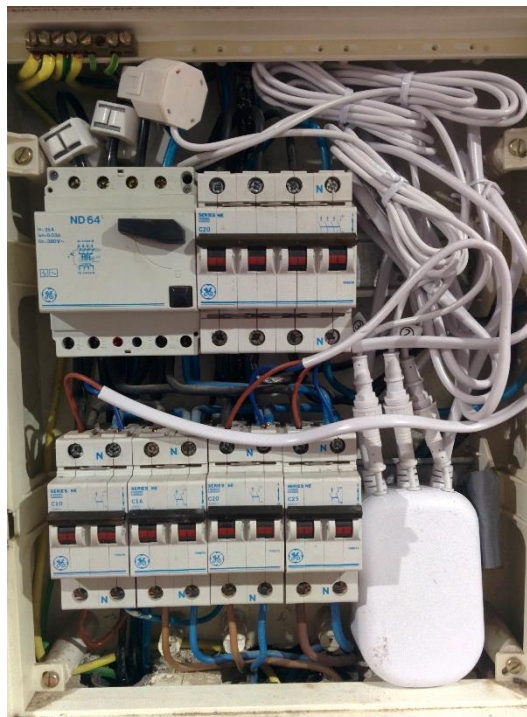


Figura 78. Contador Z-Wave en cuadro eléctrico

5.4.2 RECEPTOR USB Z-STICK

El receptor USB Z-Stick Serie 2 es realmente un Gateway [65]: Se trata de un dispositivo para conectar la red Z-Wave al PC. Permite controlar a través del PC hasta 232 dispositivos utilizando

el protocolo Z-Wave. Para su instalación y comunicación con el PC, únicamente hay que instalar los drivers proporcionados por el fabricante Aeon Labs [66].



Figura 79. Receptor Z-Wave USB Z-Stick

Dispone de una batería integrada, lo que le confiere la capacidad de incluir y excluir nodos de la red Z-Wave remotamente, independiente de una fuente de energía externa y de un controlador de la red. Además, la posibilidad de actualizar el firmware del dispositivo a través de los drivers le da la posibilidad de estar actualizado a las últimas capacidades y comandos del protocolo Z-Wave. Para la integración del contador a la red Z-Wave, únicamente hubo que extraer el controlador del puerto USB y seguir las instrucciones del fabricante [67].

5.4.3 INTEGRACIÓN EN IP-SYMCON

La integración de la red Z-Wave en IP-Symcon resulta más sencilla que la integración de la red ZigBee explicada anteriormente.

En primer lugar ha de integrarse el dispositivo Z-Stick en el programa, para lo que se crea un componente denominado “Z-Wave Gateway”. Este componente será el controlador de la red Z-Wave, que permitirá la comunicación del PC con la red a través del puerto USB. IP-Symcon cuenta con un configurador de redes Z-Wave que simplifica la integración de los nodos de la red. Para poder utilizarlo, en primer lugar se crea este componente:

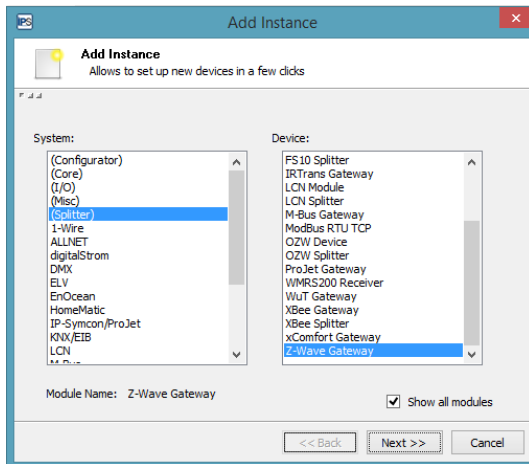


Figura 80. IP-Symcon: Z-Wave Gateway

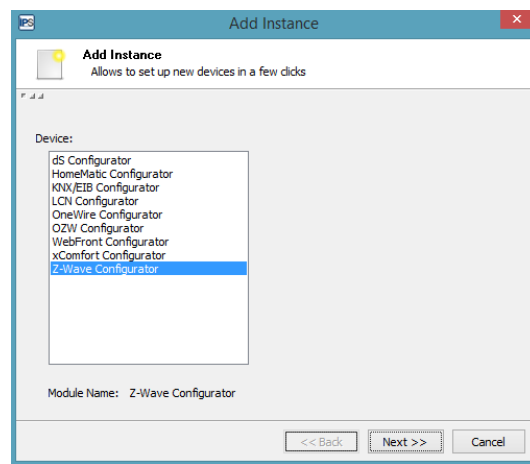


Figura 81. IP-Symcon: Z-Wave Configurator

A continuación se asocia al componente Z-Wave Gateway. Para establecer la comunicación, se ha de añadir un nuevo componente “Serial Port”, en el cual se define el puerto USB de la comunicación y los baudios, establecidos en 115200.

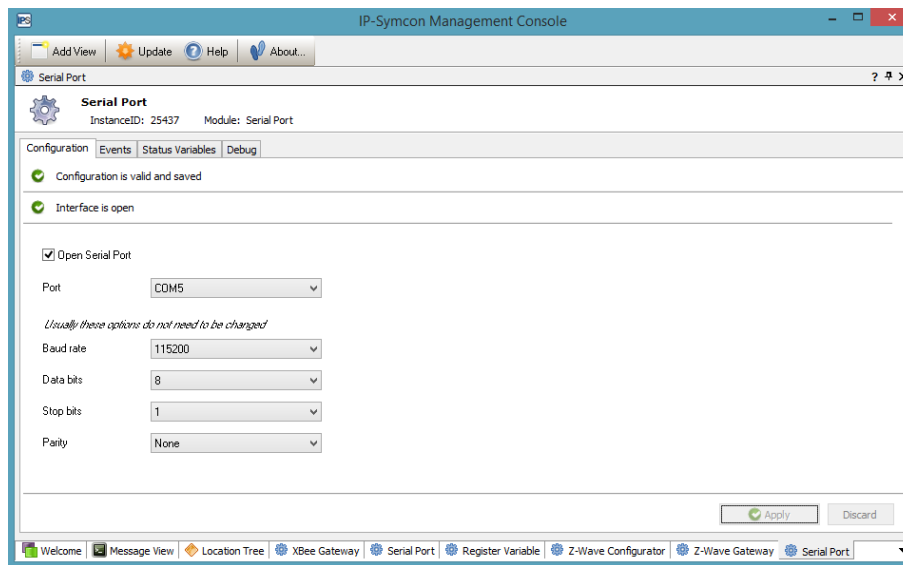


Figura 82. IP-Symcon: Configuración de Serial Port

El configurador Z-Wave de IP-Symcon permite el análisis de los dispositivos Z-Wave que pueden formar parte de la red. Para añadir un nuevo dispositivo, se debe seleccionar el dispositivo detectado y añadir al programa. Automáticamente IP-Symcon crea las variables necesarias para almacenar los datos que son enviados por el dispositivo.

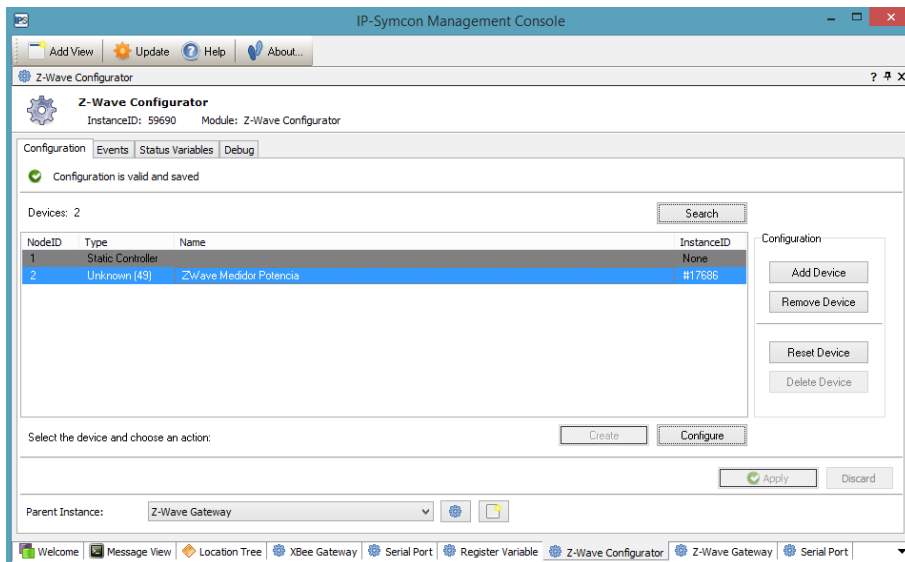


Figura 83. IP-Symcon: Detección de dispositivos Z-Wave

En el caso del contador, ha creado dos variables tipo float que almacenan los datos de la potencia instantánea y de la energía consumida desde el inicio.

Para automáticamente recibir los datos de potencia y energía, se ha asociado un script al dispositivo contador Z-Wave, que se ejecuta cada 3 segundos. Este script solicita al contador el valor de las variables energía y potencia, que son medidas y enviadas en tiempo real.

```
<?php
    ZW_RequestStatus (17686 /*ZWaveContador*/);
?>
```

CAPÍTULO 6:

SISTEMAS DE ACTUACIÓN SOBRE CARGAS RESIDENCIALES

6.1 ANÁLISIS DE CARGAS EN EL SECTOR RESIDENCIAL

El primer paso para analizar las cargas susceptibles de ser controladas por el sistema de control energético reside en el estudio de su importancia relativa en el consumo total de la vivienda. El proyecto SPAHOUSEC (Analysis of the Energy Consumption in the Spanish Households) [18] en el marco del proyecto europeo SECH (Development of detailed Statistics on Energy Consumption in Households) planteado por Eurostat [68], realizó un análisis del consumo energético en el sector residencial mediante encuestas telefónicas, presenciales y mediciones reales de consumos eléctricos. El proyecto, liderado por IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) [69], desagregó el consumo según los equipamientos de la vivienda. La siguiente figura muestra el consumo energético final medio del hogar español, distinguiéndose entre consumo eléctrico y con combustibles:

USOS FINALES	CONSUMO FINAL		
	ELECTRICO	COMBUSTIBLES	TOTAL
	TJ	TJ	TJ
CALEFACCIÓN	15.907	272.667	288.574
AGUA CALIENTE SANITARIA	16.129	100.114	116.243
COCINA	20.063	25.588	45.651
REFRIGERACIÓN	5.042	107	5.148
ILUMINACIÓN	25.366		25.366
ELECTRODOMÉSTICOS	133.470		133.470
<i>Frigoríficos</i>	40.834		40.834
<i>Congeladores</i>	8.083		8.083
<i>Lavadoras</i>	15.812		15.812
<i>Lavavajillas</i>	8.083		8.083
<i>Secadoras</i>	4.469		4.469
<i>Horno</i>	11.022		11.022
TV	16.263		16.263
<i>Ordenadores</i>	9.906		9.906
<i>Stand-by</i>	14.292		14.292
<i>Otro Equipamiento</i>	4.707		4.707
CONSUMO TOTAL	215.978	398.475	614.453

Figura 84. Consumo energético en el sector residencial. Fuente [18]

Los resultados muestran que el consumo energético de un hogar español medio es de 10521 kWh al año. En cuanto al consumo eléctrico, el mayor porcentaje es debido a los electrodomésticos, alrededor de un 62%.

La siguiente tabla muestra el porcentaje del consumo eléctrico que corresponde a cada equipamiento:

Consumo		
	TJ	%
Calefacción	15907	7,37
Agua Caliente Sanitaria	16129	7,47
Cocina	20063	9,29
Refrigeración	5042	2,33
Iluminación	25366	11,74
Electrodomésticos (total)	133470	61,80
Frigoríficos	40834	18,91
Congeladores	8083	3,74
Lavadoras	15812	7,32
Lavavajillas	8083	3,74
Secadoras	4469	2,07
Horno	11022	5,10
TV	16263	7,53
Ordenadores	9906	4,59
Stand-by	14292	6,62
Otros	4707	2,18

Tabla 2. Porcentajes del consumo eléctrico residencial

El mayor consumo eléctrico es debido a los frigoríficos (18,91 %), seguido de la iluminación (11,74 %) y de la cocina (9,29%).

Los consumos expuestos corresponden a la media española. El estudio analizó los consumos distinguiendo tres zonas climáticas: Zona Mediterránea, Atlántico Norte y zona Continental. La figura 85 muestra los consumos expuestos anteriormente según la zona climática. Como se

puede observar, la zona Mediterránea es la que mayor consumo eléctrico posee. Esto es explicado debido al mayor equipamiento electrodoméstico, diferentes temperaturas y a la alta humedad, que provoca un mayor consumo eléctrico de los equipos de refrigeración y calefacción.

USOS FINALES	CONSUMO FINAL POR ZONAS CLIMÁTICAS					
	Atlántico Norte		Continental		Mediterráneo	
	COMBUSTIBLES	ELÉCTRICO	COMBUSTIBLES	ELÉCTRICO	COMBUSTIBLES	ELÉCTRICO
	TJ	MWh	TJ	MWh	TJ	MWh
CALEFACCIÓN	27.745	690.976	139.261	1.697.708	105.660	2.029.250
AGUA CALIENTE SANITARIA	14.298	621.515	42.442	894.273	43.374	2.963.806
COCINA	5.206	1.068.284	8.546	2.341.106	11.835	2.162.719
REFRIGERACIÓN	18	13.867	25	534.894	64	851.423
ILUMINACIÓN		796.464		1.901.974		4.346.304
ELECTRODOMÉSTICOS		4.623.632		12.858.625		19.586.156
<i>Frigoríficos</i>		1.242.964		3.968.598		6.129.044
<i>Congeladores</i>		450.394		556.156		1.238.348
<i>Lavadoras</i>		690.774		1.387.690		2.312.986
<i>Lavavajillas</i>		283.068		819.304		1.142.375
<i>Secadoras</i>		116.166		293.862		831.140
<i>Horno</i>		488.519		1.126.388		1.446.087
<i>TV</i>		334.961		1.844.584		2.337.280
<i>Ordenadores</i>		253.193		973.028		1.524.887
<i>Stand-by</i>		529.254		1.337.189		2.102.879
<i>Otro Equipamiento</i>		234.340		551.826		521.130
CONSUMO TOTAL	47.267	7.814.736	190.274	20.228.579	160.934	31.939.658

Figura 85. Diferenciación del consumo residencial según zonas climáticas. Fuente [18]

El siguiente paso en el análisis de las cargas reside en estudiar su componente temporal. Según datos de REE, la mayor demanda del sistema eléctrico se produce en invierno. La figura 86 muestra las máximas demandas horarias y diarias entre 2009 y 2013, donde se puede apreciar que todos los años corresponden a los meses de enero y febrero.

Este comportamiento se puede explicar debido a las menores horas de luz natural, (mayor gasto en iluminación) y temperatura (mayor gasto de calefacción y agua caliente sanitaria).

DEMANDA MÁXIMA HORARIA Y DIARIA

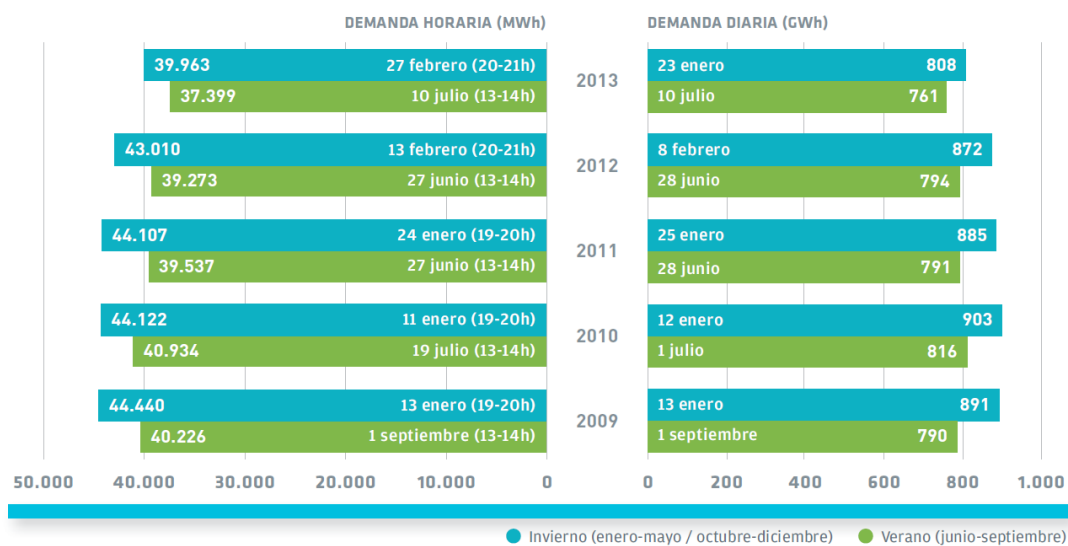


Figura 86. Demanda máxima horaria y diaria en España. Fuente [5]

Además, el consumo de las cargas es variable en un mismo día. La siguiente figura muestra la curva de carga de un hogar medio español durante un día laborable de invierno, publicado en el Atlas de Demanda Energética, realizado por el proyecto INDEL [70].

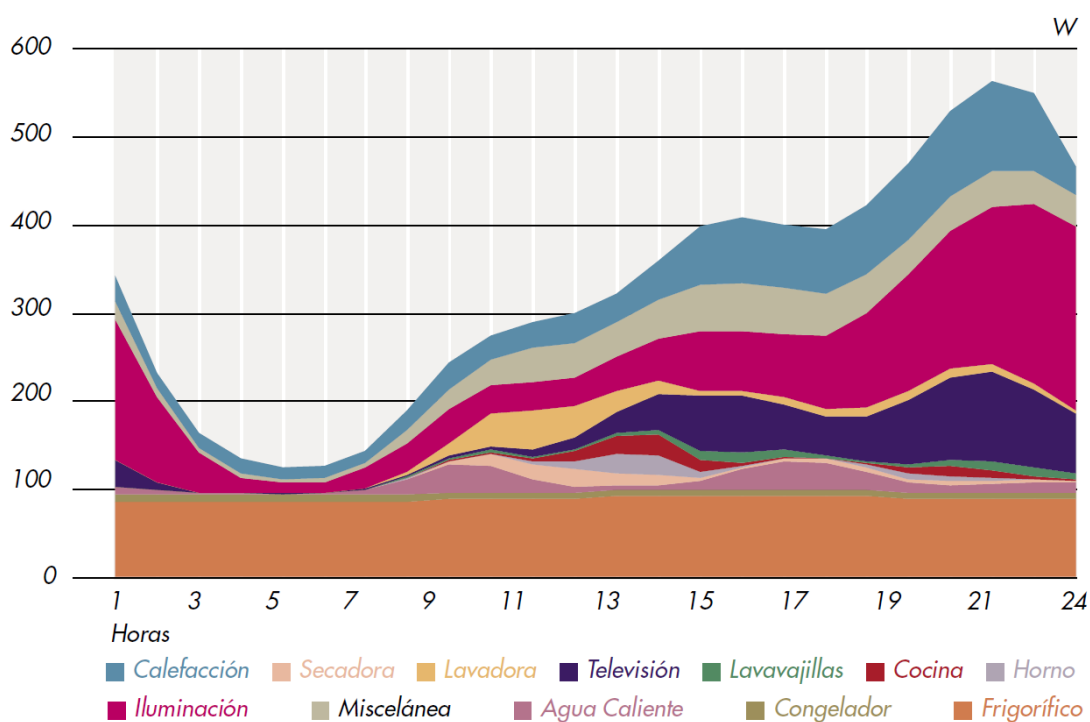


Figura 87. Variación diaria en el consumo según cargas. Fuente [70]

Como se puede apreciar en la figura anterior, la única carga que mantiene estable su consumo a lo largo del día es el frigorífico, el resto de cargas varían considerablemente a lo largo del día.

La iluminación representa en este estudio un 31 % de la demanda total residencial en invierno, siendo la carga que más consume. El informe muestra además que la hora punta de consumo se produce a las 22 horas, momento en el cual la iluminación, calefacción y televisión suponen un 68 % del consumo total.

6.2 ANÁLISIS DE CARGAS CONTROLABLES AL SERVICIO DE PROGRAMAS DE RESPUESTA DE LA DEMANDA

Los datos expuestos anteriormente corresponden a datos agregados que son representativos de toda España. Con el fin de poder estudiar mejor el potencial de los programas de respuesta de la demanda, se ha analizado en una vivienda el consumo de los equipamientos de los que dispone. Adicionalmente se han medido en otras dos viviendas otros equipamientos que no estaban presentes en la vivienda principal objeto de estudio (termo para agua caliente sanitaria y radiador eléctrico). El objetivo de este análisis consiste en obtener para un usuario real el perfil de consumo individual de los equipamientos que dispone y poder establecer junto con los datos agregados anteriores, qué equipamientos residenciales son los más adecuados para diferentes programas de respuesta de la demanda atendiendo a la importancia de su uso y a la potencia consumida.

La potencia consumida ha sido medida mediante el aparato Voltcraft Energy Logger 4000 [71]



Figura 88. Medidor de potencia Voltcraft Energy Logger 4000

Este aparato permite visualizar en tiempo real el voltaje, intensidad, potencia activa y aparente del equipamiento al que está conectado con una precisión de un 1 %. Su rango de uso oscila

entre los 1,5 y 3000 W para potencia activa y entre 0,01 y 5 A de intensidad eficaz. Los datos son guardados en intervalos de un minuto, lo que permite visualizar adecuadamente la curva de la potencia consumida. En este trabajo se ha analizado únicamente la potencia activa. A continuación se muestra un análisis de las cargas y las medidas obtenidas con este aparato en diferentes equipamientos. Se han analizado diariamente cargas con un componente cíclico como son el frigorífico y termo de agua caliente sanitaria, mientras que otras cargas que dependen en mayor medida del usuario como la televisión, lavavajillas o lavadora se han analizado durante su periodo de funcionamiento, además de su consumo en stand-by.

6.2.1 ILUMINACIÓN

La iluminación ha sufrido una notable variación en su consumo a lo largo de los últimos años debido a la implantación de bombillas de bajo consumo. Los resultados del proyecto INDEL sostienen que un 23,5 % de la demanda residencial era debida a la iluminación en 1996, mientras que los resultados del proyecto SECH-SPAHOUSEC muestran un consumo en iluminación en 2011 del 11,74 %. Esta reducción puede explicarse en parte debido a la sustitución de las bombillas incandescentes por otro tipo de lámparas, como las fluorescentes compactas, pues si en 1997 habían de media 17,2 bombillas incandescentes por hogar, en 2011 este número se redujo hasta 8,3. Este cambio ha sido alentado por la Comisión Europea desde 2006. En España, se integró dentro del Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética.

El control del consumo de la iluminación en el hogar resulta complicado en primer lugar debido a la gran cantidad de puntos de luz. El proyecto SECH-SPAHOUSEC muestra una media de 23 bombillas por hogar, por lo que resulta económicamente inviable instalar un controlador en cada punto de luz. Además, el consumo en iluminación es en teoría necesario, por lo que un control automático en este tipo de cargas en el sector residencial iría en contra del bienestar del propietario.

Se ha considerado en este trabajo que este tipo de cargas no deben de estar automatizadas para responder a programas de respuesta de la demanda, sino que deben de ser controladas desde el punto de vista de la eficiencia energética, concienciando al usuario. El sistema de control energético en este punto podría mostrar al usuario la importancia que tiene en su factura eléctrica la iluminación, promoviendo con ello un uso responsable. Adicionalmente, la presencia de sensores lumínicos y de presencia, ayudaría a la eficiencia en su consumo.

6.2.2 FRIGORÍFICO-CONGELADOR

El frigorífico es el electrodoméstico de gama blanca que tiene una mayor penetración en el hogar español. Su curva de potencia se mantiene relativamente constante a lo largo del día, como se puede apreciar en la siguiente gráfica:

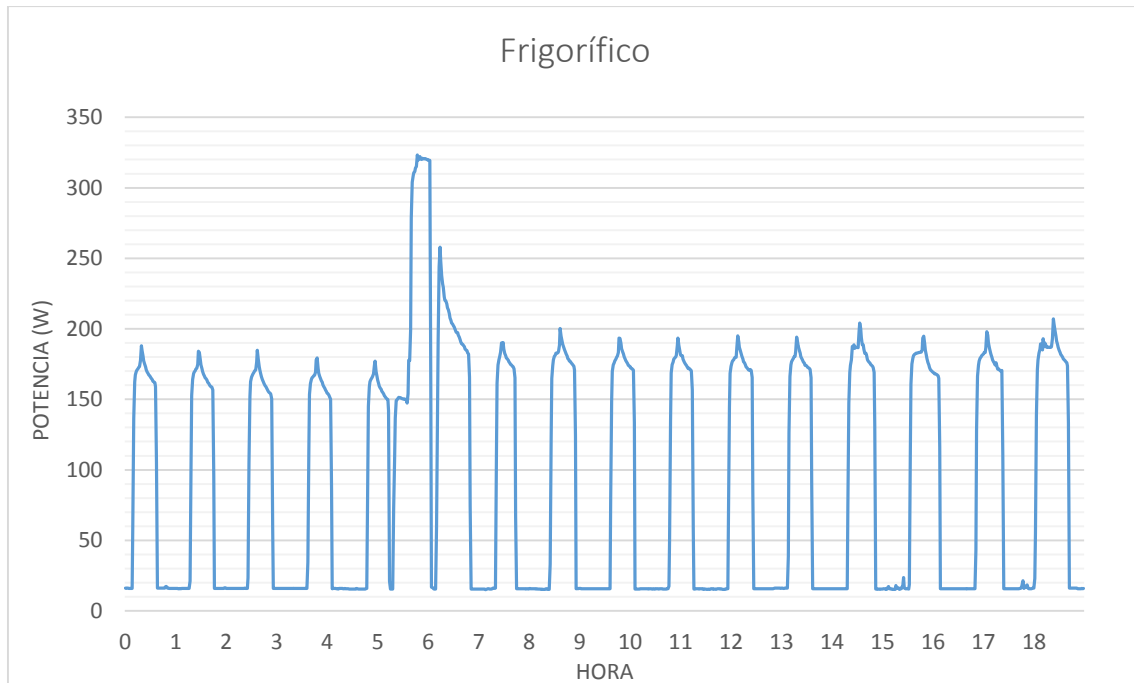


Figura 89. Curva de potencia, frigorífico

Las variaciones en la potencia horaria se explican debido al cambio de temperatura a lo largo del día y a la frecuencia de apertura del frigorífico. En la figura 90 se muestra la evolución de la potencia media horaria consumida a lo largo del día y la línea de tendencia polinómica de orden 6, que muestra un mayor consumo sobre las 6-7 y a las 18 horas.

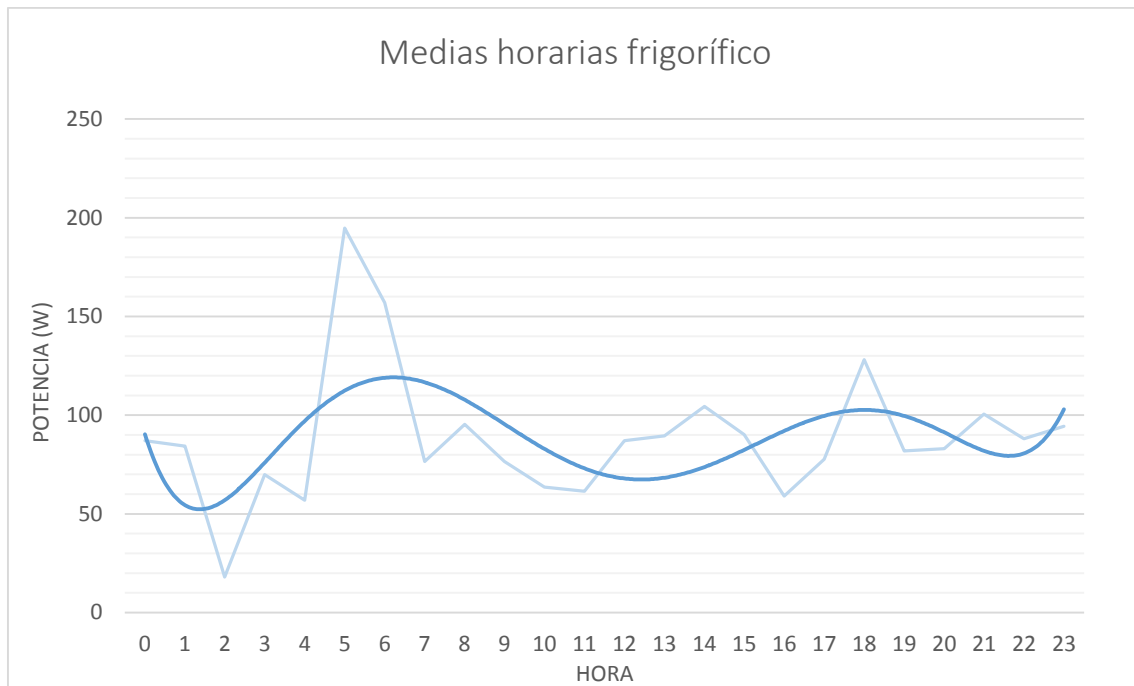


Figura 90. Variación temporal de la potencia, frigorífico

El consumo relativamente constante, su prácticamente absoluta presencia en los hogares y su elevado porcentaje en el consumo residencial hacen que sea una carga con un elevado potencial para la respuesta de la demanda. Se ha considerado que es adecuada para los programas de respuesta que requieran un tiempo de actuación pequeño, en torno a los 15 minutos, pues intervalos de una hora o mayores podrían suponer que si el frigorífico se abre durante ese periodo, la temperatura suba demasiado, pudiendo afectar a la conservación de los alimentos que aloja. Por tanto, el frigorífico y congelador se han considerado como cargas adecuadas para programas de respuesta de eventos, principalmente ante situaciones críticas del sistema avisadas con poca antelación, pues aunque su respuesta sea corta, asegura la respuesta del usuario al no afectar a su bienestar. No se ha considerado para programas de respuesta de precio en tiempo real.

6.2.3 LAVADORA

La energía consumida medida durante un ciclo de lavado ha sido de 0,42 kWh, con una potencia media de 564 W. El consumo en stand-by es de 8,6 W. La figura 91 muestra la evolución de la potencia demandada durante un ciclo de lavado.

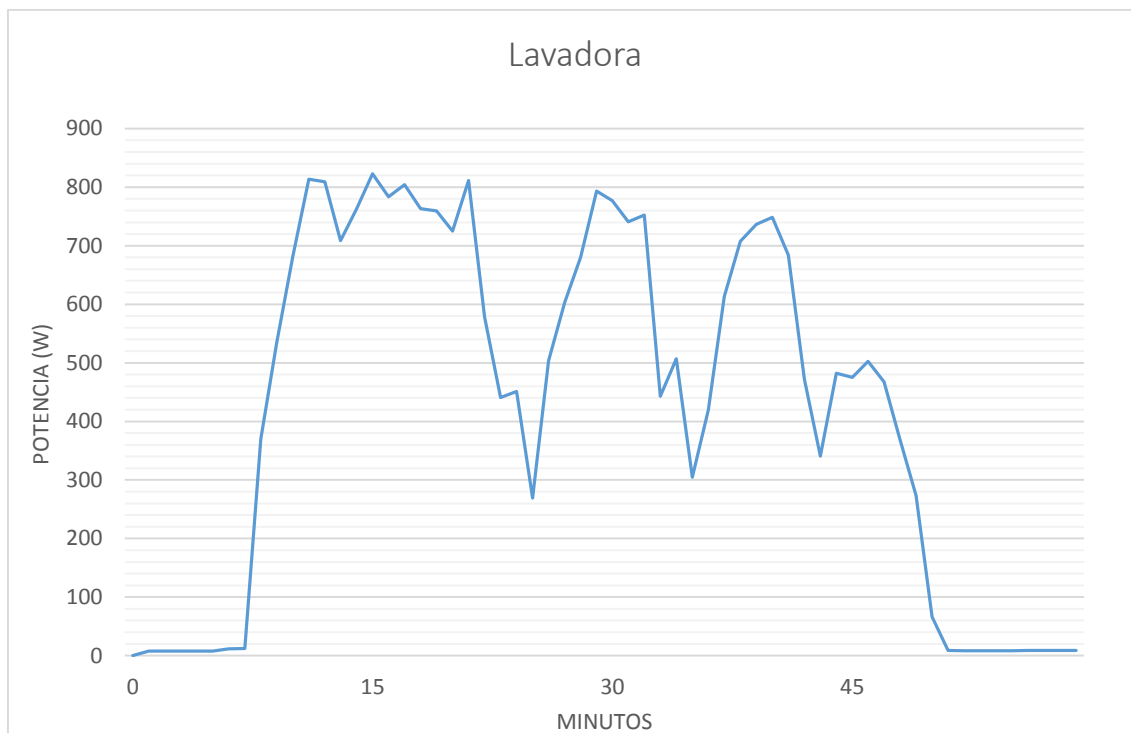


Figura 91. Curva de potencia, lavadora

El número de ciclos de lavado observado ha sido de 4,2 por semana, concentrados principalmente en fines de semana por la mañana. Este tipo de carga, con un componente temporal tan variable que depende del horario del usuario, se ha considerado adecuada para los programas de respuesta basados en precios dinámicos, pero no se considera que se deba automatizar, pues no resultará cómodo para el usuario, de manera general, la hora de menor precio. En su lugar, se considera adecuado que el sistema de control energético muestre recomendaciones al usuario sobre las horas de menor precio y el coste que supone conectarla durante diferentes horas del día, para que sea el usuario el que decida.

6.2.4 LAVAVAJILLAS

La potencia media demandada durante un ciclo ha sido de 1126,9 W, con un consumo energético de 0,60 kWh. El consumo en stand-by es de 3,09 W. La máxima potencia demandada durante su funcionamiento ha sido de 2330 W. La figura 92 muestra la evolución de la potencia consumida durante un ciclo.

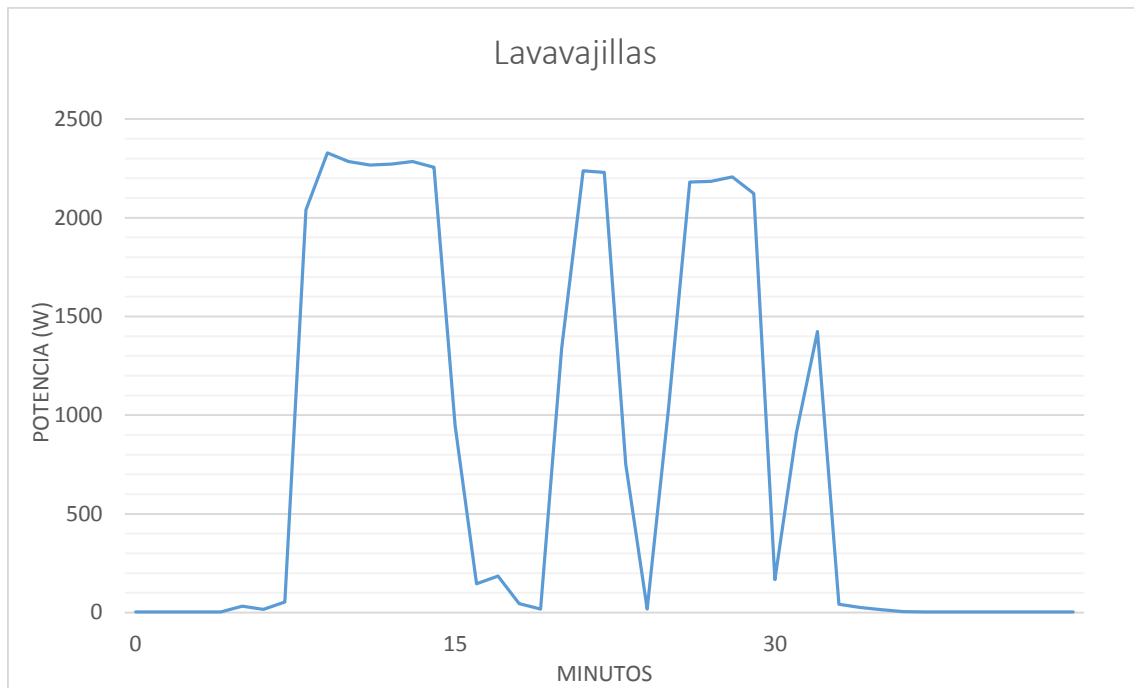


Figura 92. Curva de potencia, lavavajillas

Se ha observado que su uso medio ha sido de 2,8 veces por semana, no estando concentrado en un día de la semana a diferencia de la lavadora. Debido a su elevada potencia demandada instantánea, esta carga podría ser útil para los programas de respuesta ante emergencias. Además, la automatización atendiendo a precios no resulta tan incómoda para el usuario como la lavadora.

6.2.5 TELEVISIÓN

La potencia media demandada medida durante su utilización ha sido de 176 W. Su consumo es prácticamente constante, si bien durante los primeros minutos de su utilización es mayor, como se puede apreciar en la figura 93.

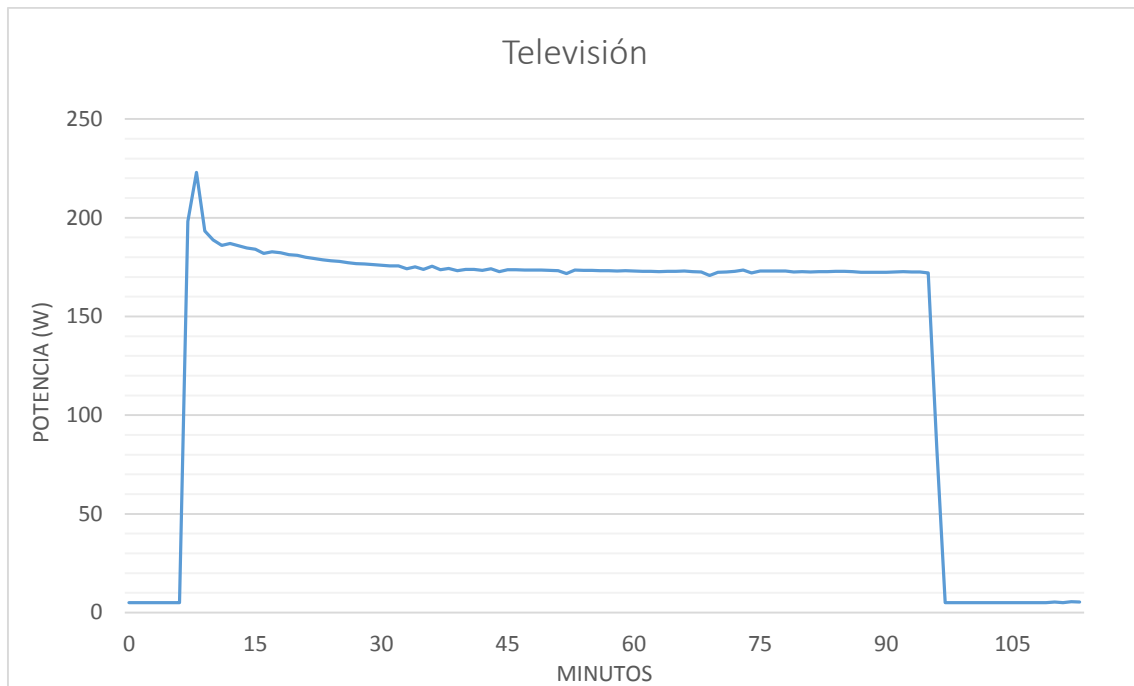


Figura 93. Curva de potencia, televisión

La televisión no se ha considerado como una carga adecuada para utilizar en los programas de respuesta de la demanda, debido a que su consumo instantáneo no es demasiado elevado y su desconexión afectaría en gran medida al bienestar del usuario.

6.2.6 TERMO PARA AGUA CALIENTE SANITARIA

Los termos, al igual que los frigoríficos tienen perfiles de demanda energéticos bastante periódicos, pues están continuamente manteniendo la temperatura del agua, si bien tienen periodos tras utilizar el agua caliente con un consumo mayor. La figura 94 muestra la potencia demandada por un termo durante un día completo.

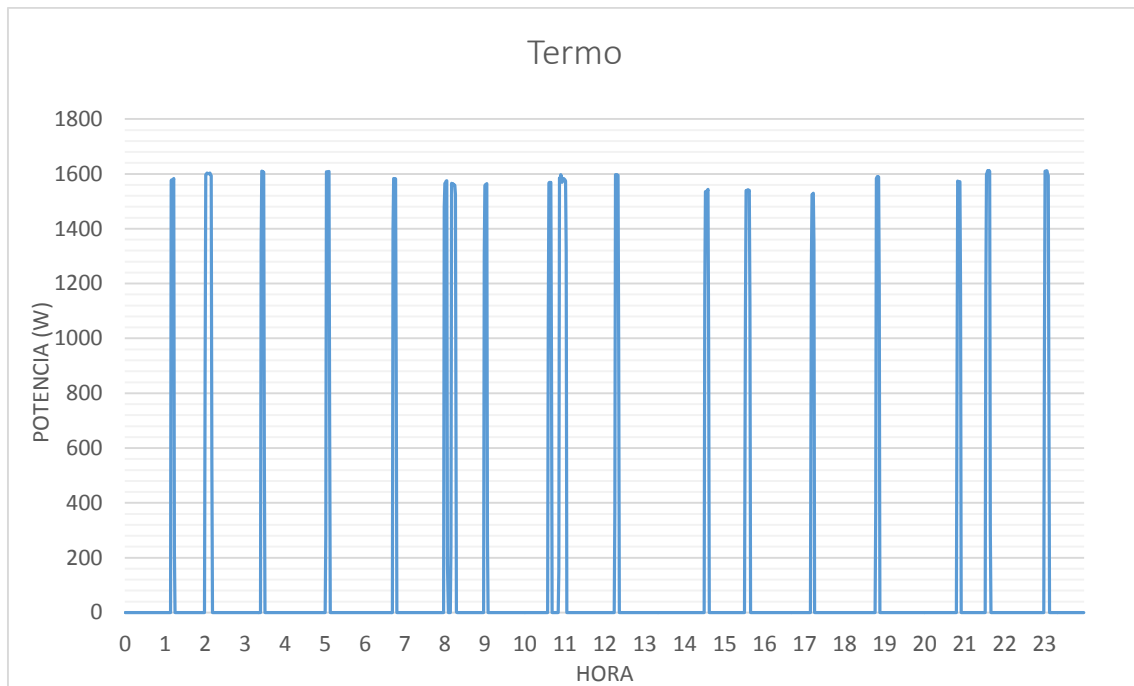


Figura 94. Curva de potencia, termo para agua caliente sanitaria

Se ha medido una potencia demandada media diaria de 124,2 W, lo que supone un consumo energético diario de 2,98 kWh, un consumo realmente importante, pues el termo está en funcionamiento todos los días del año. La potencia máxima demandada es de 1394 W, una cifra también considerable.

Los termos para agua caliente sanitaria son por tanto una carga a tener en cuenta en los programas de respuesta de la demanda, tanto de los basados en eventos, pues la potencia instantánea consumida es elevada, como en los basados en el precio, pues su consumo diario es alto. Este tipo de cargas podrían ser cortadas con facilidad sin afectar al bienestar del usuario, pues suelen ser depósitos suficientemente grandes para abastecer la demanda una vez que han calentado el agua a la temperatura adecuada. El control de este tipo de cargas tendrá como objetivo desplazar el mantenimiento de la temperatura o el calentamiento de agua nueva a otro periodo de tiempo cuando resulte necesario.

Para poder establecer un control preciso de los termos, se ha analizado la variación temporal de la potencia demandada según las horas del día. La figura 95 muestra una línea de tendencia polinómica de orden 6 dibujada sobre la potencia media horaria.

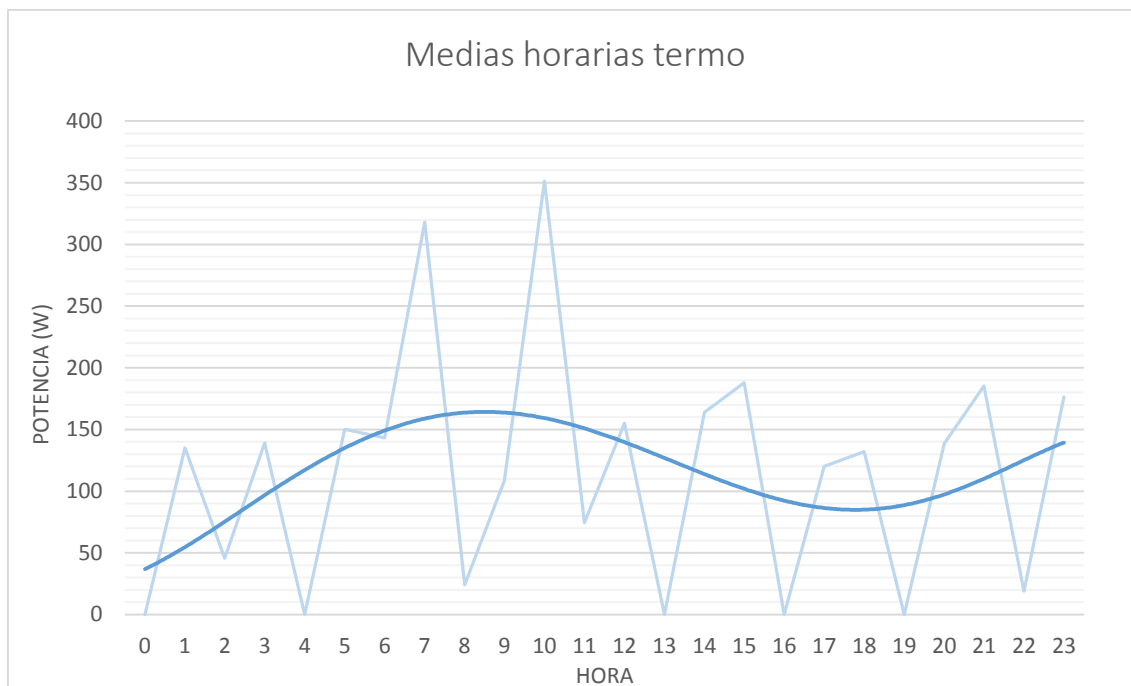


Figura 95. Variación temporal de la potencia, termo

Se puede observar que tiene el mayor consumo se produce por la mañana, entre las 7 y las 10. Una estrategia adecuada sería precalentar el agua a una mayor temperatura antes del consumo de las 7 para aprovechar el precio de las horas nocturnas de madrugada, que suele ser menor, lo que exigiría la implantación de termostatos controlados inalámbricamente, PCTs (Programmable Communicating Thermostat). Otra solución más sencilla sería el aumento de la capacidad de los termos.

6.2.7 CALEFACCIÓN

La calefacción según datos del proyecto SECH-SPAHOUSEC supone el 47% del consumo energético de las viviendas y del 7,4% del consumo eléctrico. Las viviendas analizadas disponían de calefacción de gas natural, por lo que no se ha podido medir el consumo eléctrico que suponía la calefacción en el total de la vivienda. En su lugar, se ha medido la potencia demandada por un radiador eléctrico para una habitación individual. El consumo medio durante las dos horas que duró la medición ha sido de 718 W. Se trata de un consumo elevado, pues el espacio a climatizar por este aparato es pequeño (12 m²). Si se quisiera climatizar una vivienda entera con este tipo de aparatos, el consumo sería muy elevado, por lo que resulta adecuada para los programas de respuesta de la demanda debido a su elevado consumo, pudiendo desplazar su demanda en el tiempo.

La figura 96 muestra el consumo del radiador comentado.

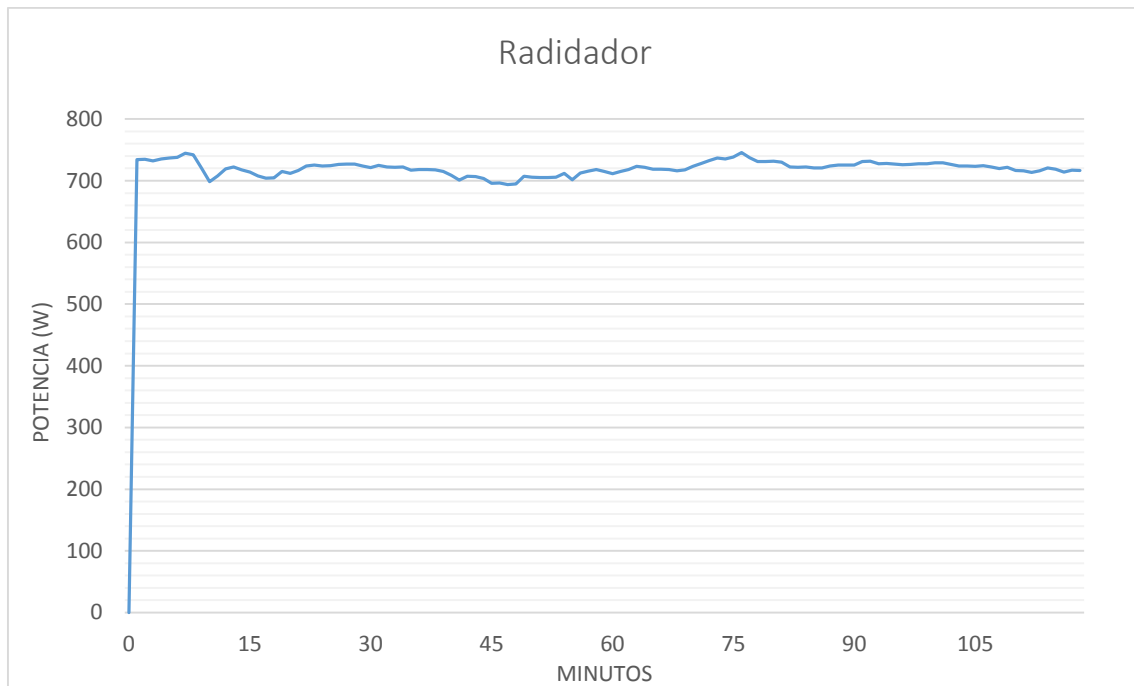


Figura 96. Curva de potencia, radiador

6.2.8 AIRE ACONDICIONADO

Aunque el consumo de aire acondicionado en España no suponga un elevado porcentaje, un 2,3 % de la demanda eléctrica residencial, según datos del proyecto SECH-SPAHOUSEC, realmente es una carga importante en la actuación de programas de respuesta de la demanda, como se explica a continuación.

Su poca representatividad en el porcentaje total es debido a que su consumo es muy estacional (meses de verano) y además desigual en el país, que tiene como origen la diferente climatología existente, distinguiéndose fundamentalmente tres tipos de clima: continental, atlántico y mediterráneo. El consumo de aire acondicionado en las zonas calurosas es realmente representativo, de hecho, se estima que un 33% en los picos de consumo de electricidad en la Comunidad de Madrid son debidos a aparatos de aire acondicionado residenciales [72].

En California, se estima que el 14% de la energía eléctrica consumida durante los picos de demanda es debida a los aparatos de aire acondicionado residenciales, que junto con los comerciales representan un 29% de la demanda, como se puede apreciar en la figura 97.

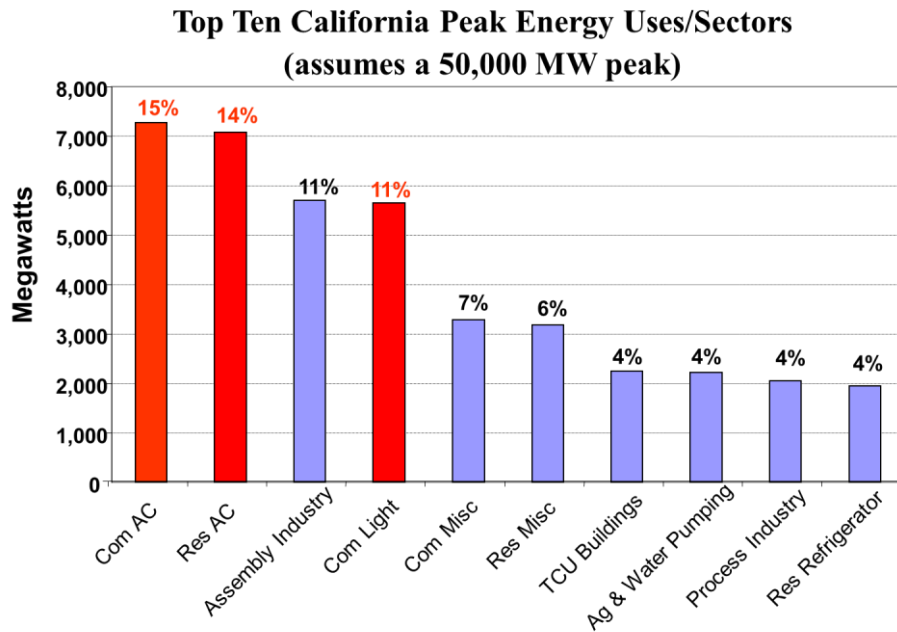


Figura 97. Cargas durante los picos de consumo, California. Fuente [73]

Se ha analizado el consumo que supone el aire acondicionado en la vivienda de estudio. Para ello, se disponen de los datos de potencia medida del total de la vivienda con intervalos de medición de 3 segundos. A continuación se muestra una gráfica con la evolución de la potencia consumida total de la vivienda durante un día que se ha considerado representativo de verano, el 19 de junio de 2014, en el que la potencia media demandada fue de 1354,6 W:

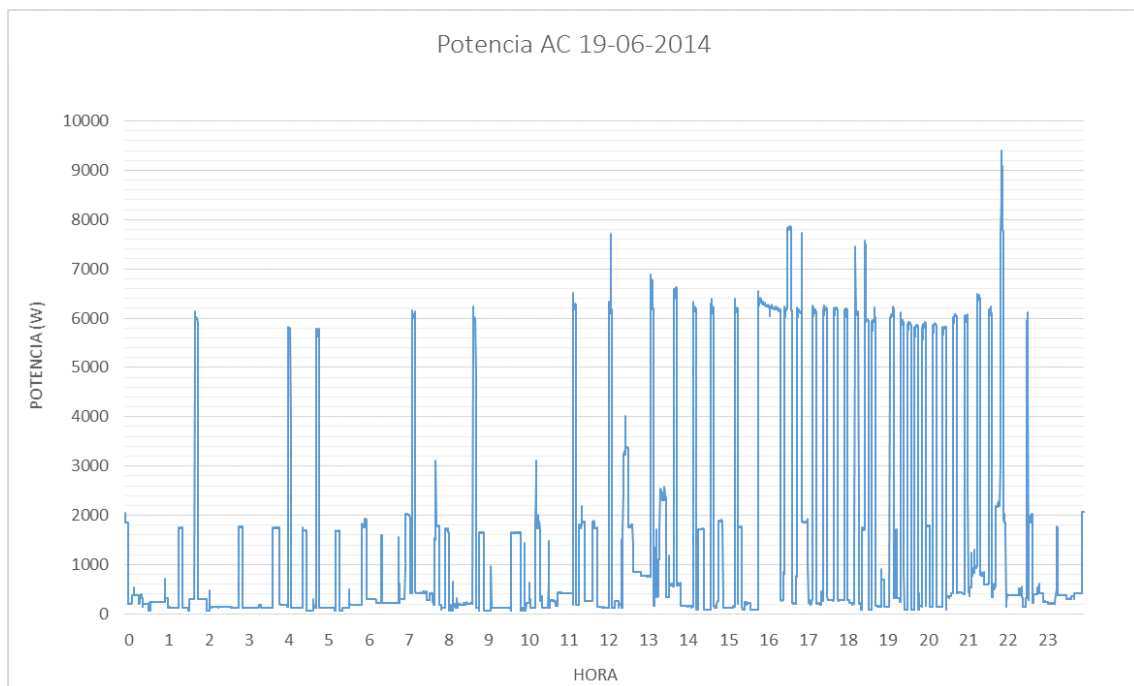


Figura 98. Curva de potencia, aire acondicionado

Para obtener la potencia consumida debido al aire acondicionado, se ha utilizado un algoritmo basado en la transformada de Hilbert [74]. Esta herramienta matemática resulta especialmente útil en programas de respuesta de la demanda, pues permite desagregar la potencia total en formas de onda cuadradas debidas a diferentes consumos que tienen diferente amplitud y frecuencia, por lo que es realmente práctica en la identificación de la conexión o desconexión de cargas de un usuario o agregados de estos. En este trabajo se ha utilizado para obtener la evolución temporal a lo largo del día de los ciclos de conexión/desconexión del aire acondicionado y para obtener la potencia que consume esta carga.

En primer lugar se ha centrado la curva de potencia y se ha aplicado la transformada de Hilbert, obteniendo el siguiente resultado:

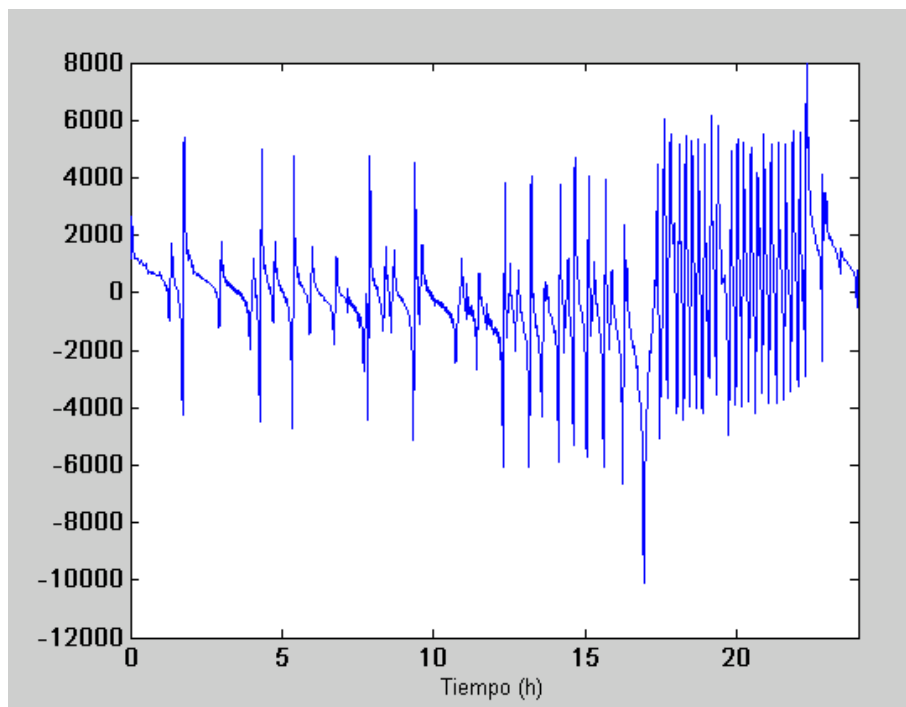


Figura 99. Transformada de Hilbert de la potencia total

La primera derivada de la parte imaginaria de la transformada de Hilbert permite obtener la frecuencia instantánea de la potencia demandada. La frecuencia instantánea únicamente tiene sentido físico en ondas con una sola componente, pero la potencia analizada es una onda compuesta, por lo que se ha obtenido la frecuencia media. Esta frecuencia media permite obtener la frecuencia de la carga de mayor potencia, que en este caso es el aire acondicionado. La figura 100 presenta los resultados obtenidos.

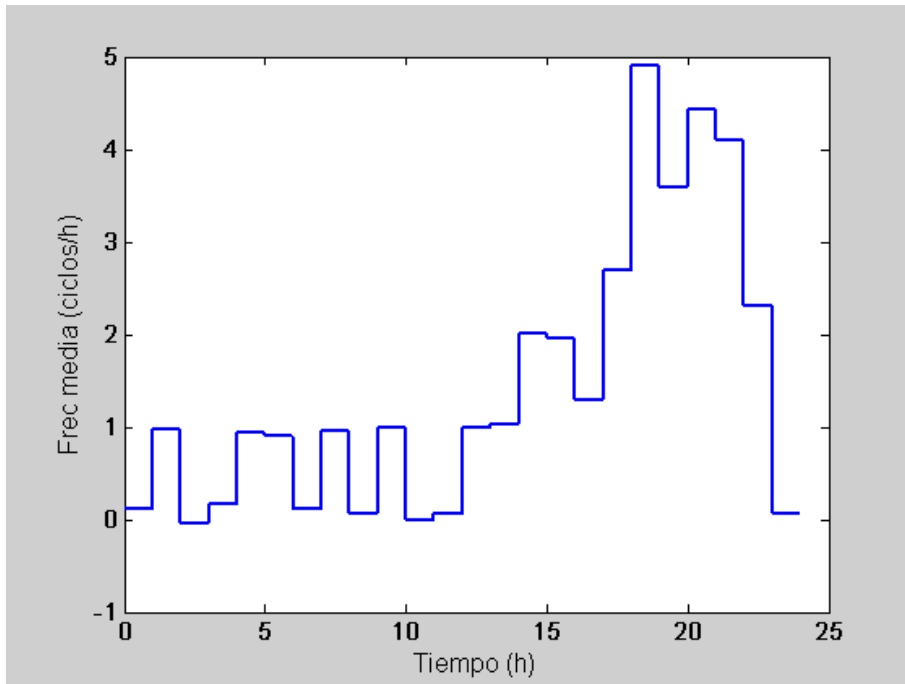


Figura 100. Frecuencia de conexión del aire acondicionado

Como se puede observar, el aire acondicionado tiene una frecuencia de conexión/desconexión entre las 0 y 10 horas de un ciclo/hora, alcanzándose un máximo a las 19 horas con 5 ciclos.

Finalmente la amplitud mayor de la transformada de Hilbert permite obtener la potencia media demandada por el aire acondicionado durante su funcionamiento. Las amplitudes obtenidas con la transformada se presentan a continuación:

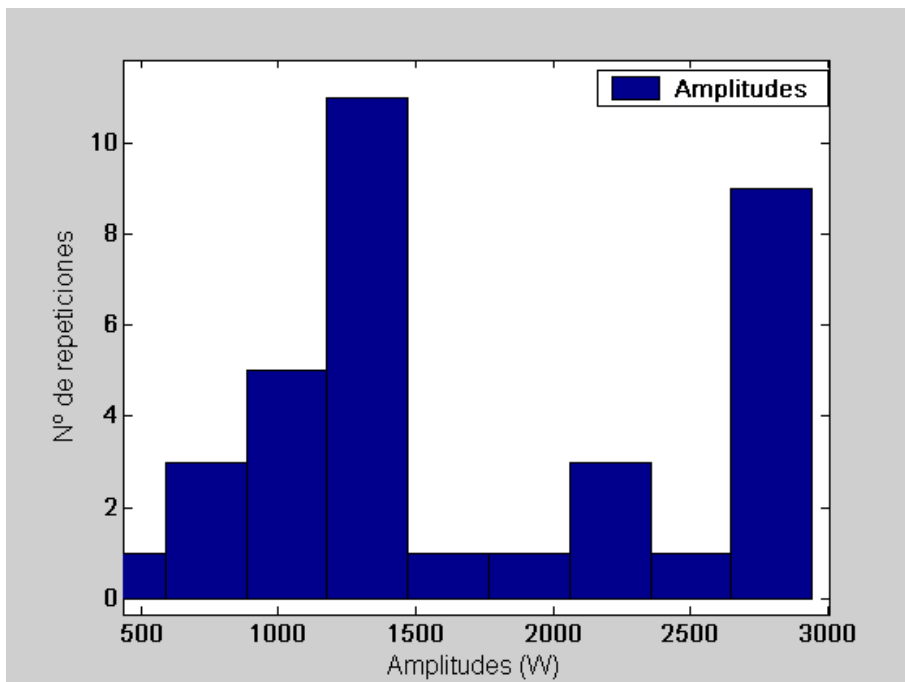


Figura 101. Amplitud de las potencias de la transformada de Hilbert

La amplitud mayor es de 2800 W. Por tanto, el consumo del aire acondicionado cuando está conectado es de 5600 W.

Una vez obtenida la potencia y la evolución temporal de la carga, se ha querido estudiar el consumo diario que supone. Para ello se han analizado el número total de datos guardados y los datos cuyo valor superan los 5600 W, que serán los instantes en los que el aire acondicionado esté conectado. Su división ha dado como resultado que el 14,43% del tiempo el aire acondicionado estaba encendido. Atendiendo a estos datos, el aire acondicionado consumió durante el día estudiado 19,39 kWh. Teniendo en cuenta que el consumo eléctrico durante dicho día fue de 32,51 kWh, el aire acondicionado supuso el 59,64% del consumo total.

Se concluye con estos datos que aunque el aire acondicionado no sea una carga con una alta representación en el consumo medio energético anual en España, en zonas calurosas representa una gran parte del consumo residencial en verano y principalmente en los picos de consumo. Por tanto, el aire acondicionado será una carga importante para ser controlada automáticamente y poder formar parte de los programas de respuesta de la demanda.

6.2.9 OTRAS CARGAS

Adicionalmente se ha medido el consumo del router y ordenador de la vivienda, ya que son componentes que formarán parte del sistema de control, por lo que conocer su consumo es necesario.

El consumo del router es estable a lo largo del tiempo y tiene una potencia media demandada de 17,9 W. La figura 102 muestra la potencia demandada durante dos horas de funcionamiento.

En cuanto al consumo del ordenador portátil, presenta una demanda cíclica con mínimo en torno a los 40 W y máximos por encima de los 50 W, como se aprecia en la figura 103. La potencia media demandada ha sido de 44,6 W.

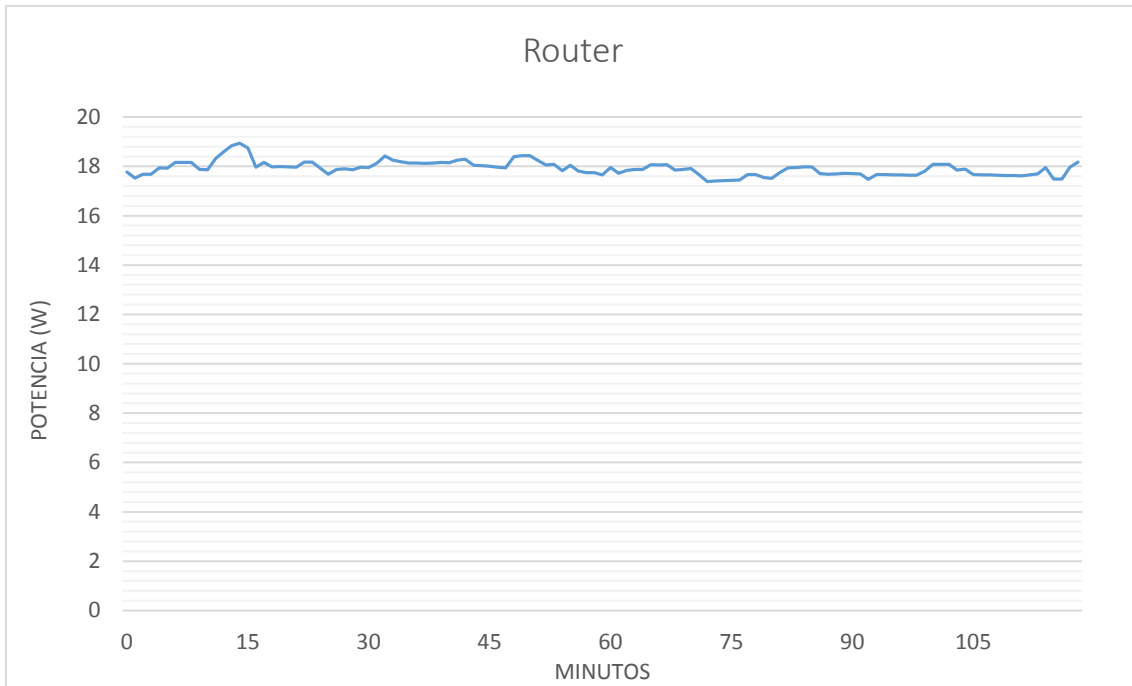


Figura 102. Curva de potencia, router

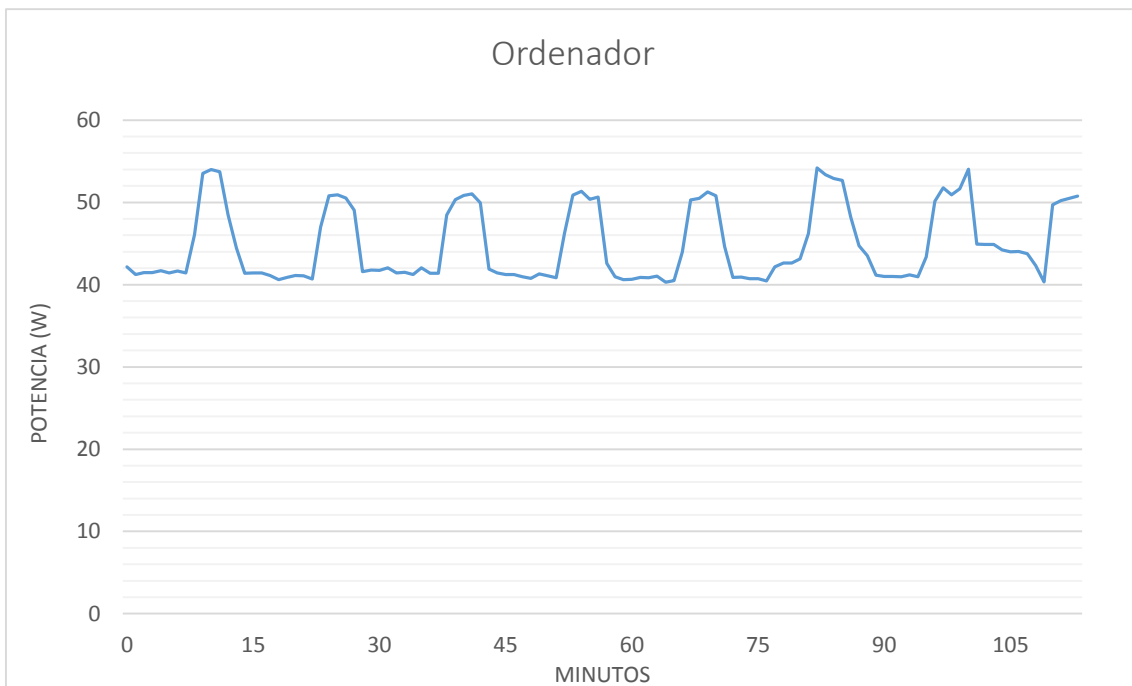


Figura 103. Curva de potencia, ordenador

6.2.10 CARGAS A CONSIDERAR POR EL SISTEMA DE CONTROL ENERGÉTICO

Atendiendo a los datos comentados en los apartados anteriores y teniendo en cuenta que el sistema de control energético en este proyecto se va a desarrollar para programas de respuesta

de la demanda basados en precios en tiempo real y respuesta de cargas debido a señales de contingencias en el sistema eléctrico, las cargas elegidas para el control automático directo han sido el aire acondicionado, la calefacción (bomba de calor y radiador eléctrico) y el termo para agua caliente sanitaria. Además, según la evolución de los precios diaria, se aconsejará cuándo utilizar cargas como el lavavajillas, lavadora y secadora, aunque no se hará un control directo. Finalmente, el frigorífico se ha considerado una carga útil para programas de respuesta ante emergencias y no ante precios dinámicos.

Las cuatro cargas elegidas para el control automático (aire acondicionado, calefacción, termo y frigorífico) son cargas térmicas que operan con histéresis entre dos rangos de temperatura establecidos. Uno de los problemas planteados al comienzo del trabajo era la ausencia actualmente de tecnologías económicas para almacenar la energía eléctrica. Las cargas térmicas planteadas para el control automático, se podrían considerar baterías, pues consumen energía eléctrica transformándola en energía térmica, pudiendo desplazar su “recarga” debido a la inercia térmica del sistema.

La automatización de estas cargas permite cambiar el consumo durante los periodos de mayor demanda del sistema a aquellos de menor demanda (Load Shifting), uno de los seis objetivos planteados por Gellings [75]. Con esto se estará reduciendo la demanda pico (Peak Clipping) y promoviendo el consumo durante las horas valle (Valley Filling). El desarrollo en la automatización de este tipo de cargas junto con la introducción de nuevas cargas como el vehículo eléctrico permitirá un desarrollo estratégico en cuanto a las horas de consumo (Strategic Load Growth). Además, el sistema de control energético tiene como uno de sus objetivos conseguir la mayor eficiencia posible, desarrollando técnicas y concienciando al usuario (Strategic Conservation).

Por tanto, la introducción de un sistema de control energético que automatice las cargas permitirá de una manera eficaz cambiar la curva de demanda en los momentos necesarios (Flexible Load Shape). La figura 104 muestra los 6 objetivos planteados por Gellings para el control de la demanda.

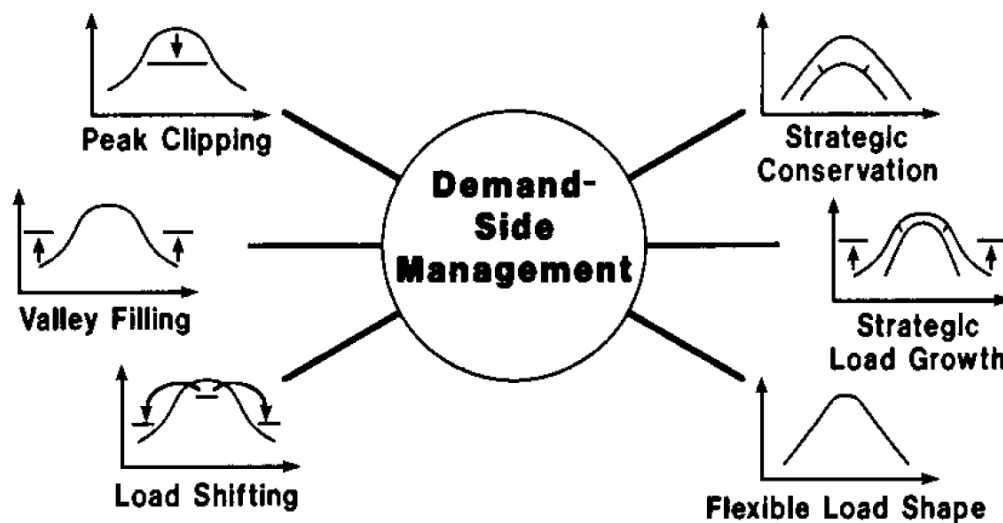


Figura 104. Objetivos del control de la demanda. Fuente [75]

6.3 PROTOCOLO FS20 PARA EL CONTROL DE CARGAS

Se ha elegido el protocolo FS20 para el control del encendido y apagado de las 4 cargas sobre las que se ha decidido actuar automáticamente (aire acondicionado/bomba de calor, radiadores eléctricos, termo para agua caliente sanitaria y frigorífico) debido a que se disponía de los dispositivos necesarios para establecer la comunicación.

El protocolo FS20 es un protocolo para aplicaciones domóticas, creado por Contronics GmbH [76] y fabricado por la empresa alemana ELV AG [77]. Está diseñado para facilitar la vida en el hogar, contando con dispositivos como sensores de lluvia, luminosidad, humedad, termostatos y sensores de apertura y cierre de ventanas. Su principal ventaja es su precio, pues estos dispositivos son más económicos que los basados en otros protocolos explicados como Z-Wave o ZigBee.

El protocolo FS20 opera en la banda de los 868 MHz y su alcance medio es de 100 m. Este protocolo tiene dos desventajas, motivo por las que no se ha explicado en el apartado de protocolos inalámbricos, pues su uso está en decadencia:

- Seguridad: El protocolo FS20 no es realmente seguro, ya que su mecanismo de control únicamente se basa en 12 dígitos de control: 8 dígitos indican el código elegido para la casa y 4 dígitos hacen referencia al dispositivo que se desea controlar dentro de la vivienda. Únicamente sabiendo éstos dígitos se podría controlar las cargas, ya que el dispositivo de destino no comprueba de dónde procede la señal.

- Envío de datos unidireccional: El dispositivo controlador envía una señal de encendido o apagado al dispositivo conectado a la carga, sin embargo, no es posible asegurar que la información ha sido recibida. Éste no es un problema con la mayoría de protocolos, pues todos los explicados en el apartado 4.2 son bidireccionales.

6.3.1 DISPOSITIVOS FS20

El control de las cargas eléctricas requiere básicamente de dos dispositivos: un controlador y un receptor.

- Controlador FS20: El controlador utilizado es el FHZ 1300 PC [78]. Está alimentado a través de un cable USB al PC. Únicamente realiza las funciones de transmisión y recepción de señales entre el ordenador y los dispositivos finales, pero no es capaz de interpretar, guardar o tomar decisiones basadas en estas señales.



Figura 105. Controlador FS20 FHZ 1300 PC

- Receptores FS20: Se han utilizado dos tipos de controladores de cargas eléctricas, ambos conectados entre la toma de corriente y la carga a controlar:
 - o FS20 ST-4 [79]: Este dispositivo es capaz de conectar o desconectar totalmente la alimentación eléctrica a la carga. Posee dos estados, ON y OFF.
 - o FS20 DI-5 [80]: Se trata de un dispositivo que permite regular la cantidad de potencia suministrada a la carga. Está especialmente diseñado para el control de la intensidad lumínica suministrada por cargas de iluminación.



Figura 106. Receptores FS20

6.3.2 INTEGRACIÓN EN IP-SYMCON

El controlador FHZ 1300 PC es conectado al ordenador mediante puerto USB, por lo que en primer lugar se han de instalar los drivers. A continuación se añaden los componentes Splitter->FHZx1XXXPC y un puerto serie para la comunicación, en el que se han establecido los baudios en 9600. Se añade finalmente el dispositivo receptor: FS20 Device, que será el mismo para los dos modelos utilizados.

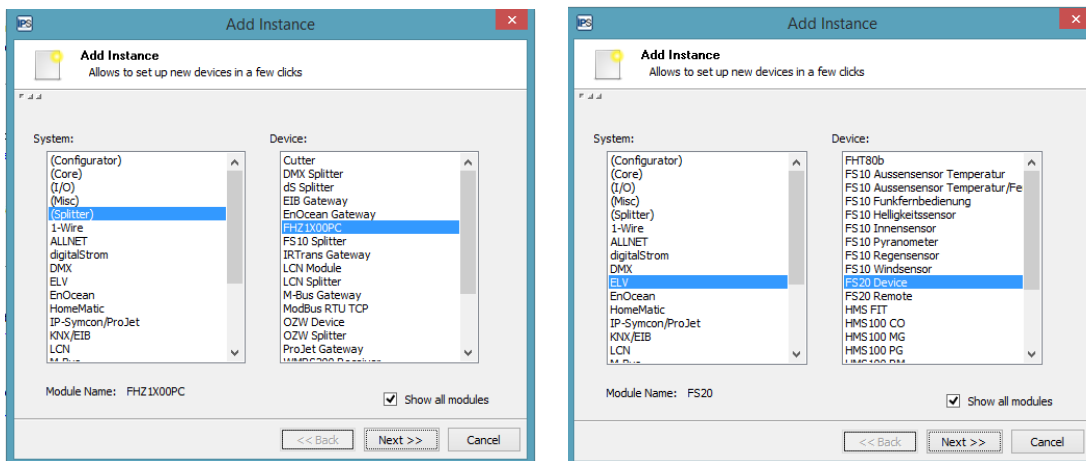


Figura 107. IP-Symcon: FHZ 1300 PC

Una vez añadidos todos los componentes, únicamente hay que configurar la conexión entre el controlador y el dispositivo final. Para ello, en primer lugar se elige un número de dirección de casa (8 dígitos) y una dirección, que será diferente para cada dispositivo (4 dígitos). Una vez elegida la dirección, se ejecuta el dispositivo en modo configuración apretando el botón durante

3 segundos y se envía la información. En la siguiente figura se puede observar la configuración, en la que se ha elegido un valor de dirección de 11111111 1111.

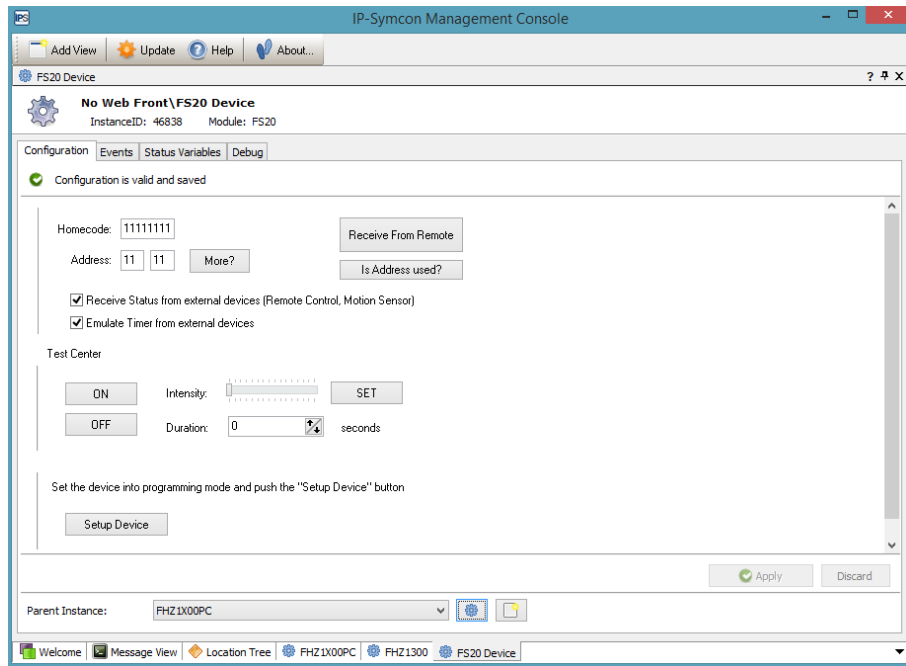


Figura 108. IP-Symcon: Configuración de la red FS20

A continuación se presentan las funciones que tiene incorporadas IP-Symcon para cambiar el estado de los dispositivos FS20. El número que se añade en cada función es el identificador del dispositivo:

- FS20 ST-4: Este dispositivo cuenta con una única función, de encendido o apagado:

```
<?php
FS20_SwitchMode(46838/*FS20 ST-4*/, true); //ON
FS20_SwitchMode(46838/*FS20 ST-4*/, false); //OFF
?>
```

- FS20 DI-5: Presenta varias funciones. En ellas se cambia la intensidad entre un valor de 0 y 16:

```
<?php
FS20_SetIntensity(39632/*FS20 DI-5*/, 7, 5); //Se establece la
intensidad en 7 sobre 16 en 5 segundos
FS20_DimUp(39632/*FS20 DI-5*/); //Sube un punto de intensidad
FS20_DimDown(39632/*FS20 DI-5*/); //Baja un punto de intensidad
?>
```

CAPÍTULO 7:

DATOS DE ENTRADA AL SISTEMA DE CONTROL ENERGÉTICO

El sistema de control energético recibe los datos provenientes de cuatro fuentes diferentes: internet, contador inteligente, usuario y cargas, que proporcionan información sobre las señales de los programas de respuesta de la demanda (precios horarios de la energía eléctrica y señales de control para bajar el consumo debido a situaciones críticas del sistema), potencia medida en tiempo real, estado de las cargas (en funcionamiento o no) y variables particulares de cada usuario que son configuradas a través de la interfaz web.

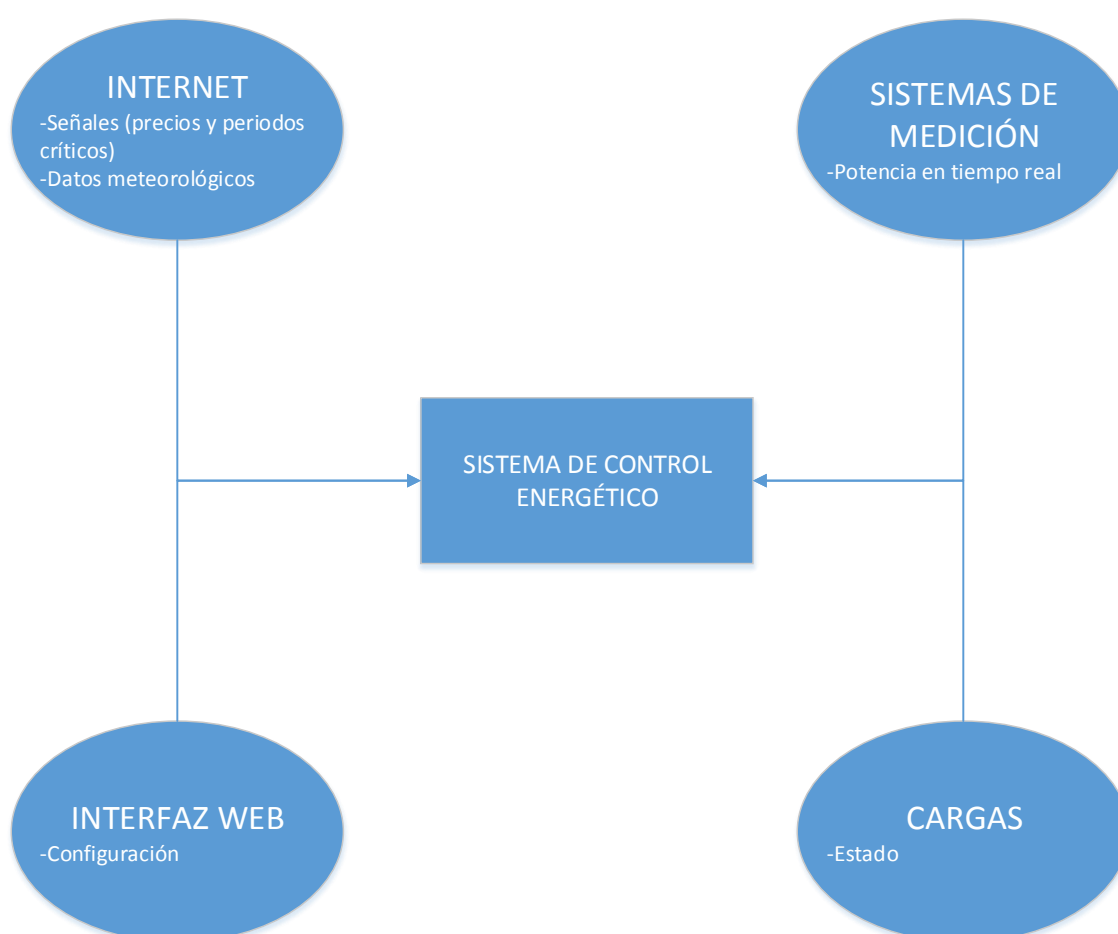


Figura 109. Entradas del sistema de control energético

En este capítulo se ha analizado en detalle cómo y de dónde se obtienen cada uno de los datos citados y el proceso que realiza el sistema de control para poder disponer de dichos datos con el fin de poder tomar decisiones y por tanto desarrollar actuaciones sobre cargas, consejos y visualizaciones de datos, que se describirán en el capítulo 8.

7.1 SEÑALES DE CONTROL DE PROGRAMAS DE RESPUESTA DE LA DEMANDA

Como se comentó en el apartado 1.3, en 2012 en Estados Unidos existían 4 programas que contribuían al 80% del potencial de reducción de la electricidad: pagos por capacidad, carga interrumpible, control directo de carga y periodos de uso.

Para el sistema de control energético desarrollado en este trabajo, se han distinguido las señales de estos programas en dos tipos: señales de precios dinámicos (periodos de uso y precios en tiempo real) y señales de periodos críticos (pagos por capacidad, carga interrumpible y control directo de carga).

7.1.1 SEÑALES DE PRECIOS DINÁMICOS

Los programas de respuesta de la demanda basados en el precio tienen como objetivo influir en la demanda del usuario mediante tarifas que poseen precios variables en el tiempo. El ejemplo más básico de este tipo de programas son aquellos de periodos de uso que distinguen dependiendo de la hora del día únicamente dos tarifas: un precio alto y uno bajo. Este sería el caso de las Tarifas de Último Recurso estándar existentes en España hasta 2014.

Un ejemplo más avanzado de estos programas es la tarifa Tempo existente en Francia desde 1995. Esta tarifa tiene como objetivo reducir los picos de consumo especialmente en los meses de invierno, para lo que divide cada día en dos tipos de precio: un precio alto (entre las 6 am y 10 pm) y un precio bajo (el resto de días). Además, introduce como novedad la variación de los precios altos y bajos en 3 categorías diferentes, distinguidas por los colores rojo, blanco y azul que son anunciadas la tarde antes sobre las 5:30 pm.

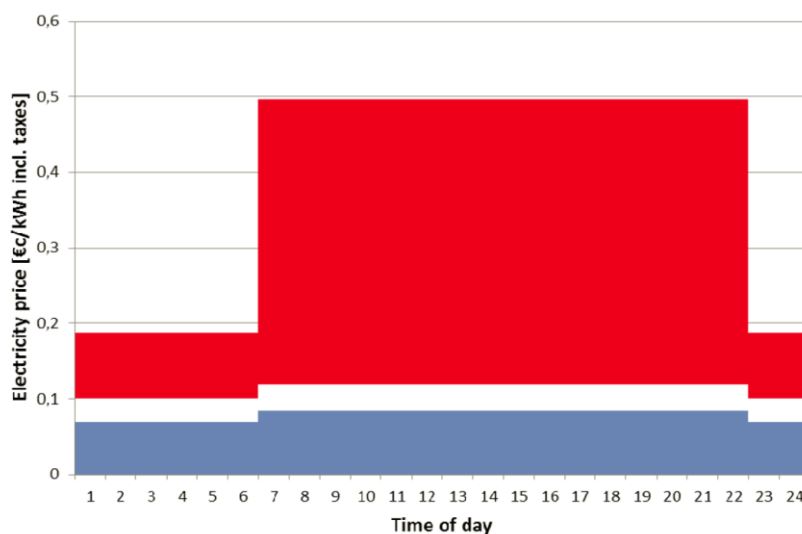


Figura 110. Tarifa Tempo, Francia. Fuente [81]

Este tipo de tarifas son adecuadas como un primer paso en la concienciación del usuario sobre la variabilidad del precio de la electricidad, sin embargo, están limitadas a modificar el consumo del usuario a intervalos de tiempo demasiado amplios, de días en el caso de la tarifa Tempo. El verdadero objetivo de los programas de respuesta de la demanda es modificar una curva de demanda que es variable en el tiempo y diferente para cada día y hora, por lo que en esencia, la variación del precio horario atendiendo a las necesidades del sistema es la verdadera solución a este problema. El inconveniente de este programa, que reside en la falta de comunicación e información al usuario y la aplicación de tecnologías al servicio de la respuesta automática en la variación de precios, es el motivo por el cual este tipo de programas no se ha aplicado prácticamente a usuarios residenciales. El estudio y desarrollo de soluciones que permitan su implantación es uno de los principales objetivos de este trabajo, por lo que se ha elegido como datos de entrada al sistema de control energético un precio horario variable en el tiempo.

7.1.1.1 PRECIO VOLUNTARIO PARA EL PEQUEÑO CONSUMIDOR (PVPC)

La tarifa eléctrica variable elegida ha sido el Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor (PVPC), que es una modalidad de tarificación española que establece los precios máximos que podrán cobrar las comercializadoras a los consumidores que estén acogidos a dicha tarifa. El precio voluntario al pequeño consumidor sustituye las tarifas de último recurso existentes en España con el Real Decreto 216/2014 de 28 de marzo [82]. Los consumidores que estuviesen acogidos a la antigua tarifa TUR pasarán a esta modalidad.

Los precios voluntarios al pequeño consumidor pueden ser acogidos por consumidores con una potencia inferior a 10kW, por lo que son adecuados principalmente para el sector residencial. Una de las principales diferencias con respecto a las anteriores tarifas de último recurso reside en el cálculo del coste de producción de la energía eléctrica. Mientras que anteriormente estaba basado en el resultado de las subastas CESUR con un horizonte trimestral, el coste de producción del precio voluntario para el pequeño consumidor está basado en el precio horario del mercado eléctrico diario e intradiario durante el periodo correspondiente a la facturación. Por tanto, se ha pasado de un modelo en el que el precio estaba fijado a priori a través de mecanismos como las subastas CESUR, a un modelo en el que el consumidor tendrá que abonar el coste real de la producción de energía.

Como consecuencia, el consumidor final tendrá variaciones de precio diarias, que fomentará perfiles de consumo más eficientes y una mayor transparencia en el precio de facturación. Además, la supresión del coste de aseguramiento derivado de un precio negociado en un

mercado de futuros (subastas CESUR), supondrá un ahorro para el consumidor al no tener que hacer frente a los sobrecostes de aseguración de precios, a costa de una mayor incertidumbre.

El Real Decreto 216/2014 establece un periodo transitorio para la aplicación de esta modalidad entre abril y junio de 2014. Sin embargo, a partir del 1 de julio de 2014 se aplicará la nueva modalidad, que establece una facturación basada en valores horarios de producción reales. El Real Decreto distingue dos modalidades de facturación: para los clientes que cuenten con equipos de medida con capacidad para la telemedida y telegestión estará basada en el consumo real horario, mientras que para los usuarios que no cuenten con esta capacidad, las facturas se basarán en coeficientes horario del perfil de consumo proporcionados por Red Eléctrica de España S.A, que tendrá la obligación de publicarlos el jueves anterior de cada semana de facturación.

7.1.1.1.1 COMPOSICIÓN DE LOS PRECIOS VOLUNTARIOS PARA EL PEQUEÑO CONSUMIDOR

Los precios voluntarios al pequeño consumidor se calculan teniendo en cuenta los costes de producción de la energía eléctrica, los peajes de acceso y los costes de comercialización. Para el cálculo de los costes de facturación, se distingue entre términos de facturación de potencia, término de facturación de energía activa y término de facturación de energía reactiva, en el caso que corresponda. Este último término está regulado en el Real Decreto 1164/2001 de 26 de octubre [83] y no se considerará en este trabajo. A continuación se explica la composición de los dos primeros términos:

- Término de facturación de potencia (FPU): Resulta de la multiplicación de la potencia contratada en kW por el término de potencia (TPU):

$$FPU = Pot \cdot TPU$$

- o El término de potencia resulta de la suma del término de potencia del peaje de acceso (TPA) y del margen de comercialización:

$$TPU = TPA + MCF$$

- Término de facturación de energía activa (FEU): Resulta de la multiplicación de la energía consumida durante el periodo de facturación por el precio del término de energía. Se ha considerado el caso en el que los contadores tengan capacidad para telemedida y telegestión, en cuyo caso será calculado según la siguiente fórmula:

$$FEU = \sum_p E_p \cdot TEU_p + \sum_h E_h \cdot TCU_h$$

Donde:

- p hace referencia al periodo de facturación y h a la hora de facturación correspondiente al periodo.
- TEU_p es el término de energía en el periodo tarifario p, que es igual al término de energía del correspondiente peaje de acceso y cargos.
- TCU_p es el término del coste horario, que es calculado teniendo en cuenta el coste de producción CP_h y un coeficiente de pérdidas $PERD_h$:

$$TCU_h = (1 + PERD_h) \cdot CP_h$$

- El coste de producción CP_h es calculado a su vez teniendo en cuenta los precios medios horarios del mercado diario e intradiario (P_{mh}), el valor del coste correspondiente a los servicios de ajuste del sistemas asociados a la hora de suministro h (SA_h) y otros costes (OC_h):

$$CP_h = P_{mh} + SA_h + OC_h$$

Se pueden distinguir tres modalidades de precio voluntario para el pequeño consumidor, que se distinguen básicamente por establecer entre uno y tres periodos en algunos componentes del término de energía. Estos componentes son el cargo por capacidad asociado a otros costes del coste de producción (OC_h), el coeficiente de pérdidas ($PERD_h$) y los peajes de acceso (TEU_p). A continuación se numeran las tres modalidades:

- PVPC 2.0A (1 periodo): Tarifa general.
- PVPC 2.0DHA (2 periodos): Tarifa nocturna.
- PVPC 2.0DHS (3 periodos): Tarifa vehículo eléctrico o supervalle.
-

7.1.1.1.2 DESCARGA DE DATOS DE PVPC

Red Eléctrica de España como operador del sistema eléctrico está obligado al cálculo y publicación de los precios voluntarios para el pequeño consumidor antes de las 20:15 del día anterior, tal y como establece el Real Decreto 216/2014. Están disponibles a través del sistema de información del operador del sistema “eSios” [84]. En la figura 111 se muestra el término de facturación de energía activa del PVPC publicado por REE para el día 7 de septiembre de 2014.

Término de Facturación de Energía Activa del PVPC

< dom. 07/09/2014 >

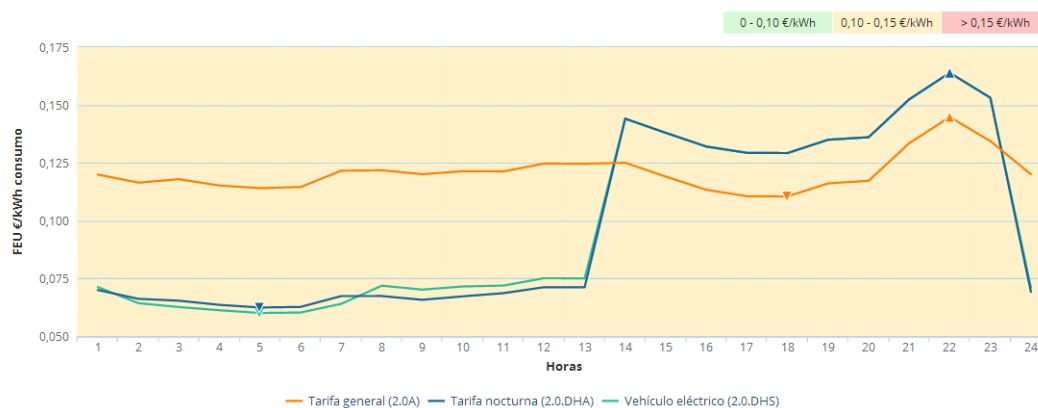


Figura 111. Término de facturación de energía activa del PVPC, 7-09-2014. Fuente REE

En la siguiente tabla se muestran los precios máximos y mínimos para dicho día y cada una de las tarifas:

Tarifa	Precio máximo (€/kWh)	Precio mínimo (€/kWh)	Diferencia (%)
PVPC 2.0 A	0.14478	0.11046	31.07007061
PVPC 2.0 DHA	0.16389	0.06245	162.4339472
PVPC 2.0 DHS	0.16389	0.06008	172.786285

Tabla 3. Variación del precio PVPC, 7-09-2014

Se puede observar una variación de precio del 31 % para la tarifa general y un 172 % para la tarifa de vehículo eléctrico. Teniendo en cuenta que la repercusión de estos precios supone en torno al 60% del total de la factura eléctrica para la tarifa general y del 70% para los usuarios acogidos a la tarifa nocturna o supervalle (fuente: REE), muestra la importancia de disponer de un sistema de control energético que automáticamente responda a estos precios para conseguir una optimización económica automática.

El primer paso para la respuesta automática consiste en descargar estos precios diariamente para ser evaluados por el sistema de control energético. REE pone a la disposición de los usuarios además de una visualización de los precios como la mostrada anteriormente, la posibilidad de descargar dichos precios. El enlace del mismo día de la figura anterior es el siguiente:

```
http://www.esios.ree.es/Solicitar?fileName=PVPC_DETALLE_DD_20140907&
fileType=xls&idioma=es
```

Se ha observado que diariamente únicamente cambia la fecha de los documentos (marcada en rojo en el enlace anterior). Se ha programado un código en PHP en IP-Symcon que automáticamente descarga el archivo Excel con los precios y lo guarda en la carpeta pvpc del ordenador a las 21 horas de cada día.

```
<?php
//Se obtiene la fecha del día siguiente con el formato año, mes, día
$fecha=date('Ymd',strtotime("+1 day"));

//Dirección del archivo a descargar, con la variable $fecha
$url =
'http://www.esios.ree.es/Solicitar?fileName=PVPC_DETALLE_DD_'."$fecha
a".'&fileType=xls&idioma=es';

//Directorio en el que se guarda el archivo Excel
$directorio='C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\pvpc\pvpc_'."$fecha".'.x
ls';

//Se solicita el archivo Excel
$contenido = file_get_contents($url);

//Se guarda en el directorio
file_put_contents($directorio,$contenido);

?>
```

Se ha comprobado que la lectura de los archivos Excel resulta demasiado lenta para ejecutarla en la interfaz web, por lo que se han guardado los datos de los precios del término de energía en un archivo .csv:

```
<?php
//Se obtiene la fecha del día siguiente con el formato año, mes, día
$fecha=date('Ymd',strtotime("+1 day"));
$usuario='Alejandro';

//Directorio en el que se guarda el archivo .csv
$directorio=fopen('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\pvpc\pvpc_'."$fecha
a".'.csv','w+');

//Se obtiene el archivo Excel
require_once('C:\Users\\'."$usuario".'\Desktop\IP-Symcon\php
excel\Classes\PHPExcel.php');
$objetoPHPExcel=PHPExcel_IOFactory::load('C:\wamp\www\proyectoUPCT\D
atos\pvpc\pvpc_'."$fecha".'.xls');
```

```

$objetohoja=$objetoPHPExcel->getActiveSheet() -
>toArray(null,true,true,true);

//Se leen los valores de cada una de las modalidades de PVPC
for($i=0;$i<24;$i++){
$datos1[$i]=$objetohoja[6+$i]['E'];
}
for($i=0;$i<24;$i++){
$datos2[$i]=$objetohoja[30+$i]['E'];
}
for($i=0;$i<24;$i++){
$datos3[$i]=$objetohoja[54+$i]['E'];
}

//Se guardan los valores
fputcsv($directorio,$datos1,';');
fputcsv($directorio,$datos2,';');
fputcsv($directorio,$datos3,';');

?>

```

7.1.1.1.3 PREVISIÓN DE PRECIOS PVPC

Se ha considerado que el usuario residencial puede querer tener una previsión de los precios con mayor antelación que a las 21 h del día anterior. Se ha realizado una estimación de los precios horarios eliminando el componente de precio intradiario, ya que la primera sesión del mercado intradiario que se considera termina a las 18:45 y la casación no se produce hasta las 19:30. Esta componente es despreciable frente a los precios del mercado diario.

Tanto el mercado diario como el intradiario en la península Ibérica están gestionados por OMIE [85]. El precio y volumen de una hora determinada es establecido según un modelo marginalista adoptado por la Unión Europea, utilizando como base el algoritmo EUPHEMIA aprobado para todos los mercados europeos. El cierre del mercado diario se produce a las 12:00. A partir de esta hora el operador del mercado procede a la casación de las ofertas de compra y venta de la energía eléctrica. El precio horario será el precio del último tramo de la oferta de venta de la última unidad de producción necesaria para atender a la demanda que haya resultado casada. El resultado de la casación es publicado a las 14:00 del mismo día.

OMIE proporciona un documento con los resultados del mercado diario en el siguiente enlace, para el mismo día que el ejemplo anterior:

http://www.omie.es/datosPub/marginalpdbc/marginalpdbc_20140907.1

Este documento contiene tanto los resultados del mercado diario en España como en Portugal, por lo que una vez descargado se tienen que extraer los datos adecuados, si bien normalmente son iguales. Durante el año 2013 el 89% del tiempo el precio de la electricidad fue igual en España que en Portugal (OMIE).

El siguiente script se ejecuta automáticamente a las 14:00 de cada día. En él se descargan los precios del mercado diario y se extraen los precios del mercado diario español:

```
<?php

//Obtener fecha del día siguiente
$fecha=date('Ymd',strtotime("+1 day"));

//Dirección de descarga
$url = 'http://www.omie.es/datosPub/marginalpdbc/
marginalpdbc_'."$fecha".'.1';

//Directorio donde se guardan los precios obtenidos
$directorio=
'C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\pvpc\OMIE_'."$fecha".'.csv';

//Se descarga el archivo
$contenido = file_get_contents($url);

//Se obtiene un array separando las horas y valores de cada hora
$exp = explode("\n", $contenido);
for($i=1;$i<=24;$i++){
$exp2[$i]=explode('; ', $exp[$i]);
}

//La extensión del vector en la primera hora indica el número de
datos
$ext=count($exp2[1]);

//Se coge el último dato de cada hora, el correspondiente al mercado
diario español y se separan los datos por ;
for($i=1;$i<=24;$i++){
$exp3[$i]=$exp2[$i][$ext-2].';';
}

//Se guardan los precios obtenidos
file_put_contents($directorio,$exp3);

?>
```

La estimación del término de energía se ha realizado basándose en los datos reales de los componentes del término de energía que se han descargado para ese mismo día. Se han considerado constantes todos los términos menos el dato que se tiene sobre el mercado diario.

En primer lugar se ha restado del coste de producción el término del mercado diario del mismo día, para sumarle el término del mercado diario real del día siguiente:

$$CP_{previsto} = CP_{dia} - MD_{dia} + MD_{previsto}$$

A continuación se han tenido en cuenta el coeficiente de pérdidas y el peaje de acceso del mismo día (TEU):

$$FEU_{previsto} = TEU_{dia} + CP_{previsto}(1 + PERD_{dia})$$

El fichero descargado de PVPC es un fichero Excel. Para facilitar su lectura en PHP, se ha instalado la librería PHPEXcel, disponible en [86]. Esta librería permite leer los archivos Excel por filas y columnas indicando el número y letra respectivamente. Se ha instalado en el mismo directorio donde se guardan los scripts en IP-Symcon.

A continuación se presenta el código utilizado para realizar la estimación de los precios del término de energía:

```
<?php

//Se indica el usuario
$usuario='Alejandro';

//Se obtiene la fecha del día actual y de la previsión
$fecha=date('Ymd',strtotime("+1 day"));
$fecha2=date('Ymd');

//Se invoca a la librería PHPEXcel
require_once('C:\Users\\'. "$usuario" . '\Desktop\IP-Symcon\php
excel\Classes\PHPEXcel.php');

//Archivo donde se van a guardar los precios estimados
$archivo=fopen('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\pvpc\estimacionpvpc_'
."$fecha2".'.csv','w');

//Archivo que contiene los precios del mercado diario, se guardan en
la variable $exp
$datosOMIE=file_get_contents('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\pvpc\OM
IE_'."$fecha".'.csv');
$exp =explode(';',$datosOMIE);

//Se crea un objeto PHP que contiene información sobre el archivo
Excel
$objetoPHPEXcel=PHPEXcel_IOFactory::load('C:\wamp\www\proyectoUPCT\D
atos\pvpc\pvpc_'."$fecha2".'.xls');

//Se obtiene del objeto la hoja donde están los datos
$objetohoja=$objetoPHPEXcel->getActiveSheet()-
>toArray(null,true,true,true);
```

```

//A continuación se realiza la previsión de los precios
//Se ha realizado localizando en el archivo Excel la posición de los
datos
//PVPC 2.0A
for($i=0;$i<24;$i++){

//Coste de producción previsto para cada hora
$datos1[$i]=$objetoHoja[6+$i]['J']-$objetoHoja[6+$i]['X']+$exp[$i];

//Precio de producción teniendo en cuenta coeficiente de pérdidas
$datos1[$i]*=(1+($objetoHoja[6+$i]['H']/100));

//Se guarda con dos decimales
$datos1[$i]=number_format($datos1[$i], 2, '.', '');

//Se suma peaje de acceso para obtener término de energía
$datos1[$i]+=$objetoHoja[6+$i]['F'];
}
//PVPC 2.0DHA
for($i=0;$i<24;$i++){
$datos2[$i]=$objetoHoja[30+$i]['J']-
$objetoHoja[30+$i]['X']+$exp[$i];
$datos2[$i]*=(1+($objetoHoja[30+$i]['H']/100));
$datos2[$i]=number_format($datos2[$i], 2, '.', '');
$datos2[$i]+=$objetoHoja[30+$i]['F'];
}
//PVPC 2.0DHS
for($i=0;$i<24;$i++){
$datos3[$i]=$objetoHoja[54+$i]['J']-
$objetoHoja[54+$i]['X']+$exp[$i];
$datos3[$i]*=(1+($objetoHoja[54+$i]['H']/100));
$datos3[$i]=number_format($datos3[$i], 2, '.', '');
$datos3[$i]+=$objetoHoja[54+$i]['F'];
}

//Se guardan los precios
fputcsv($archivo,$datos1,';');
fputcsv($archivo,$datos2,';');
fputcsv($archivo,$datos3,';');
?>

```

7.1.1 SEÑALES DE PERIODOS CRÍTICOS (EVENTOS)

Los programas de respuesta de la demanda basados en la carga, como son el control directo de carga, pagos por capacidad y carga interrumpible, tienen como objetivo que ante una señal de control del operador (evento), el usuario reduzca su carga. En el control directo de carga, ofrecido normalmente a residentes y pequeños comercios, el operador es capaz de desconectar la carga remotamente. Los programas de carga interrumpible ofrecidos normalmente a grandes consumidores, ofrecen descuentos en las facturas cuando se produce la desconexión de las

cargas ante contingencias del sistema. Estos usuarios suelen tener fuentes de energía independientes. Finalmente, los pagos por capacidad obligan al usuario a tener una carga preestablecida que sea capaz de desconectar cuando sea solicitado por el operador.

Como se puede observar, el objetivo común de todos ellos es la desconexión de cargas en un momento determinado. En este caso no hay que evaluar, al contrario que los programas basados en el precio, la optimización económica de su desconexión, pues se está prácticamente obligado a ello. Por ello, se ha considerado que estas señales serán tipo todo/nada, y el sistema de control energético únicamente tendrá que desconectar las cargas previamente configuradas por el usuario ante este tipo de señal.

7.2 POTENCIA EN TIEMPO REAL

Los datos de potencia obtenidos por el sistema de medición y enviados al PC son almacenados en una variable de IP-Symcon. Para su visualización fuera de este programa y para que puedan ser descargados, se han guardado los datos en 3 carpetas diferentes dentro de una carpeta denominada "datos". En la primera carpeta se guardan todos los datos que se han obtenido cada día, en la segunda carpeta las medias de cada hora y en la tercera carpeta las medias cada 15 minutos. Se han nombrado con la fecha del día correspondiente.

Los códigos que se presentan a continuación, que son ejecutados cada 8 horas, hora y 15 minutos respectivamente, deben de guardar los últimos datos del día en el documento correcto. Es decir, el script que se ejecuta a las 00:00, contiene los datos del día anterior, por lo que se debe de guardar el documento con fecha del día anterior. Para obtener correctamente los datos, se ha utilizado una variable para cada uno de ellos que almacena el tiempo en el que se guardó el último dato, solucionando este problema.

7.2.1 ALMACENAMIENTO DE DATOS DE POTENCIA COMPLETOS

El siguiente script se ejecuta cada 8 horas. No se ejecuta cada día porque únicamente se pueden guardar en un array de una variable de IP-Symcon 10000 datos. Como se obtiene la potencia cada 3 segundos, al cabo de 8 horas se tienen 9600 datos. Se ejecuta a las 00:00, 08:00 y 16:00 de cada día.

```
<?php
//Se obtiene la fecha en tiempo Unix actual
$ahora=time();
//Fecha del último dato guardado
```



```

$ultimo=GetValue(42686 /*Variable FechaDia*/);

//Se guardan los datos de las últimas 8 horas en la variable $datos
$datos=AC_GetLoggedValues(16661 /*Archivo*/,13291 /*Variable
PotenciaZWave*/, $ultimo, $ahora, 0);

//Convierte la fecha del último dato en Unix al formato día-mes-año
$fecha=date('d-m-Y', $ultimo);

//Si el fichero no existe se crea y se pone como encabezado fecha y
potencia

if(file_exists('datos/24horas/'."$fecha".'.csv')){
    $archivo = fopen('datos/24horas/'."$fecha".'.csv', 'a+');
}else{

//Si ya existe, comienza la escritura desde el último dato
    $archivo = fopen('datos/24horas/'."$fecha".'.csv', 'a+');
    $encabezado=array('fecha', 'potencia');
    fputcsv($archivo, $encabezado, ';');
    }

//Número de datos -1
$longitud=count($datos);

//IP-Symcon almacena los datos en un array donde el primero datos es
el último dato guardado. Para guardarlos en el archivo .csv se le da
la vuelta
for($i=0;$i<$longitud;$i++) {
    $guardar[$i]['TimeStamp']=$datos[$longitud-$i-1]['TimeStamp'];
    $guardar[$i]['Value']=$datos[$longitud-$i-1]['Value'];
    }

//Se guarda en el fichero .csv la fecha y el dato de potencia
foreach ($guardar as $datosBuenos) {
    $guardarReves=array($datosBuenos['TimeStamp'], $datosBuenos['Val
ue']);
    fputcsv($archivo, $guardarReves, ';');
    }

//Cierra el archivo y guarda el tiempo del último dato guardado
fclose($archivo);
SetValue(42686 /*Variable FechaDia*/, $ahora);

?>

```

7.2.2 ALMACENAMIENTO DE POTENCIA EN INTERVALOS HORARIOS

El script se ejecuta cada hora, guardando la media de la potencia que ha sido demandada en la hora anterior. Además de guardarse el archivo en la carpeta mencionada anteriormente, se guarda una copia en una carpeta donde se aloja la interfaz web. El código es el siguiente:

```

<?php

$ahora=time();
$ultimo=GetValue(57306 /*Variable FechaHora*/ );

//Se obtiene la media de la hora anterior
$datos=AC_GetAggregatedValues(16661/*Archivo*/,13291/*Variable
PotenciaZWave*/,,0,$ultimo,$ahora,0);

//Fecha del último dato en formato dia-mes-año
$fecha=date('d-m-Y',$ultimo);

//Hora del último dato anterior
$hora=date('H',$ultimo);

//Se guarda en la carpeta datos
if(file_exists('datos/lhora/'.$fecha.'.csv')){
    $archivo = fopen('datos/lhora/'.$fecha.'.csv', 'a+');
}else{
    $archivo = fopen('datos/lhora/'.$fecha.'.csv', 'a+');
    $encabezado=array('hora','media');
    fputs($archivo,$encabezado,';');
}

//Se guarda en la carpeta de la interfaz web
if(file_exists('
C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\potencia\horarios'.$fecha.'.csv')){
    $archivo2 = fopen('
C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\potencia\horarios'.$fecha.'.csv',
'a+');
}else{
    $archivo2 = fopen('
C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\potencia\horarios'.$fecha.'.csv',
'a+');
    $encabezado=array('hora','media');
    fputs($archivo2,$encabezado,';');
}

$guardar=array($hora,$datos[0]['Avg']);
fputs($archivo,$guardar,';');
fputs($archivo2,$guardar,';');
fclose($archivo);
SetValue(57306 /*Variable FechaHora*/,$ahora);

?>

```

7.2.3 ALMACENAMIENTO DE POTENCIA CADA 15 MINUTOS

Se ha guardado la media de la potencia consumida en intervalos de 15 minutos, ya que es un intervalo de medida habitual en los contadores eléctricos [87]. El siguiente código se ejecuta regularmente cada 15 minutos:

```
<?php

$ahora=time();
$ultimo=GetValue(37116 /*Variable FechaMinutos*/);
$datos=AC_GetAggregatedValues(16661 /*Archivo*/,13291/*Variable
PotenciaZWave*/,0,$ultimo,$ahora,0);
$dia=date('d-m-Y',$ultimo);
$fecha=date('H',$ultimo);

//Se guardan los minutos de los datos:00, 15, 30 o 45
$minutos=date('i',$ultimo);

if(file_exists('datos/15minutos/'."$fecha".'.csv')){
    $archivo = fopen('datos/15minutos/'."$fecha".'.csv', 'a+');
}else{
    $archivo = fopen('datos/15minutos/'."$fecha".'.csv', 'a+');
    $encabezado=array('hora:minuto','media');
    fputs($archivo,$encabezado,';');
}

//Guarda la hora y los minutos de la potencia
$minutos=$hora.':'.$minutos;
$guardar=array($minutos,$datos[0]['Avg']);
fputs($archivo,$guardar,';');
fclose($archivo);
SetValue(37116 /*Variable FechaMinutos*/,$ahora);

?>
```

7.3 DATOS METEOROLÓGICOS

Se ha obtenido la temperatura proporcionada cada hora por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) [88]. Se ha programado a modo de ejemplo la posibilidad de obtener la temperatura de las localidades de Murcia y Cartagena. La configuración se ha guardado en una variable denominada Localidad.

La obtención y almacenamiento de la temperatura es importante para proporcionar información meteorológica al usuario y para la previsión de la potencia consumida. La temperatura es un factor importante en la previsión de la potencia, pues influye directamente sobre el consumo del aire acondicionado y calefacción, cargas que tienen un gran peso en la componente variable de la energía consumida. El almacenamiento de la temperatura servirá para establecer

relaciones dinámicas entre la potencia que ha sido almacenada y la previsión de la potencia. Además, se han almacenado las variables de velocidad del viento y humedad.

Experimentalmente se ha observado que AEMET actualiza los datos meteorológicos sobre los 30 minutos de cada hora, que pone a disposición del usuario a través de un archivo Excel. Este Excel es descargado, se extraen los datos de temperatura, viento y humedad y se guardan en un archivo .csv para su utilización. El código utilizado para tal propósito es el siguiente:

```
<?php

//Configuración de usuario
$usuario='Alejandro';

//Identificador de la carpeta con las variables de configuración
$carpeta=47815;

//Fecha actual formato dia-mes-año-hora
$fecha=date('d-m-Y-H');

//Librería para trabajar con archivos Excel
require_once('C:\Users\\\'."$usuario".'\Desktop\IP-Symcon\php
excel\Classes\PHPExcel.php');

//Se obtiene la localidad elegida por el usuario
$localidad=GetValue(@IPS_GetVariableIDByName
("Localidad",$carpeta));

//Dirección de los datos meteorológicos de Murcia
if($localidad=='Murcia'){
$url =
'http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/ultimosdatos_7178I_datos-
horarios.xls?k=mur&l=7178I&datos=det&w=0&f=temperatura&x=h24';
}

//Dirección de los datos meteorológicos de Cartagena
else if($localidad=='Cartagena'){
$url='http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/ultimosdatos_7012C
_datos-
horarios.xls?k=mur&l=7012C&datos=det&w=0&f=temperatura&x=h24';
}

//En caso de error se muestra un mensaje
else{
echo'Localidad incorrecta';
return;
}

//Se obtiene el Excel
$contenido = file_get_contents($url);

//Almacenamiento del Excel
```

```

$directorio=
'C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\aemet\aemet_temporales'."$fecha".'.xls';
file_put_contents($directorio,$contenido);

//Apertura del Excel
$objetoPHPExcel=PHPExcel_IOFactory::load($directorio);
$objetohoja=$objetoPHPExcel->getActiveSheet()-
>toArray(null,true,true,true);

//Obtención de la temperatura, viento y humedad
$temperatura=($objetohoja[5]['B']);
$viento=($objetohoja[5]['C']);
$humedad=($objetohoja[5]['J']);

//Se guardan en un array para utilizar la función fputcsv
$datos=array($fecha,$temperatura,$viento,$humedad);

//Se crea o abre el archivo .csv para guardar los datos
if(file_exists('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\aemet\aemet_'."$fecha".'.csv')){
    $archivo =
fopen('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\aemet\aemet_'."$fecha".'.csv',
'a+');
}else{
    $archivo =
fopen('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\aemet\aemet_'."$fecha".'.csv',
'a+');
    $encabezado=array('fecha','temperatura','viento','humedad');
    fputcsv($archivo,$encabezado,',';');
}

//Se guardan los datos
fputcsv($archivo,$datos,',';');

//Cierra el archivo
fclose($archivo);

?>

```

7.4 ESTADO DE CARGAS

El estado de las cargas (conectadas o desconectadas) es almacenado en el programa IP-Symcon cada vez que el sistema de control energético es responsable del cambio automático de su estado. El protocolo FS20 utilizado, al ser unidireccional, no permite la comprobación de que realmente ha llegado la señal de cambio a la carga y por tanto ha cambiado su estado. Sin embargo, el resto de protocolos explicados en el apartado 4.2 y que serían los más adecuados

para establecer las comunicaciones del sistema de control energético, son bidireccionales, lo que permite asegurar que las cargas han recibido la señal y además enviar la información de un cambio que se haya producido manualmente por parte del usuario.

Como solución al problema de los protocolos unidireccionales y respuesta a la necesidad de contar con soluciones que permitan analizar los datos de usuarios agregados, se han desarrollado herramientas matemáticas que permiten detectar analizando la curva de la potencia demandada, el cambio en las cargas que se produce durante el periodo analizado.

Una primera aproximación sencilla y válida para un usuario residencial que dispone de sistemas de medición con intervalos de medición del orden de segundos como los que se han desarrollado en este trabajo (capítulo 5) y válida para comprobar la validez de la respuesta automática consiste en analizar la potencia demandada justo antes y después del envío de la señal de control. Si el cambio absoluto de potencia corresponde a la potencia de la carga conectada o desconectada, el sistema de control entenderá que la señal ha sido enviada o recibida de manera correcta.

Sin embargo, el método anterior únicamente sería válido para la validación de las respuestas automáticas, pero no sería una verdadera solución para la interpretación del cambio de potencia debido a cambios manuales. En este caso, herramientas matemáticas como la transformada de Hilbert [74], permitirían un análisis más preciso del comportamiento de la carga.

A continuación se muestra como ejemplo la aplicación práctica de la transformada de Hilbert al estudio de la conexión y desconexión del termo para agua caliente sanitaria de la vivienda de estudio durante el día 28 de mayo de 2014. La figura 112 muestra la variación de la potencia a lo largo del día.

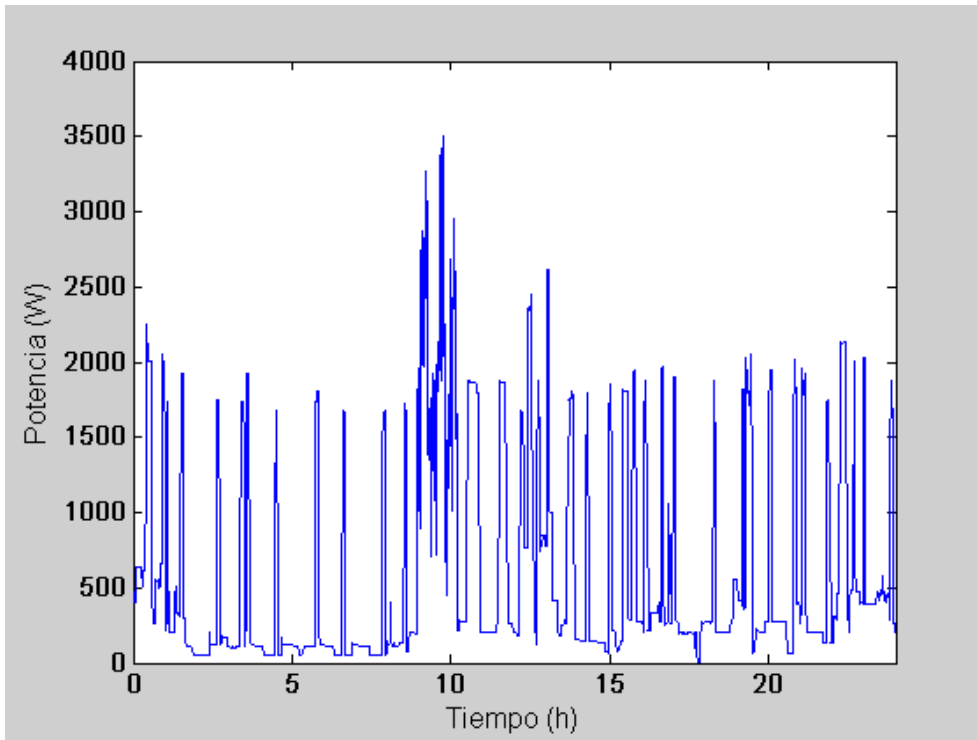


Figura 112. Curva de potencia, 28-05-2014

La siguiente figura muestra la frecuencia de conexión y desconexión del termo a lo largo del día tras haber aplicado la transformada de Hilbert:

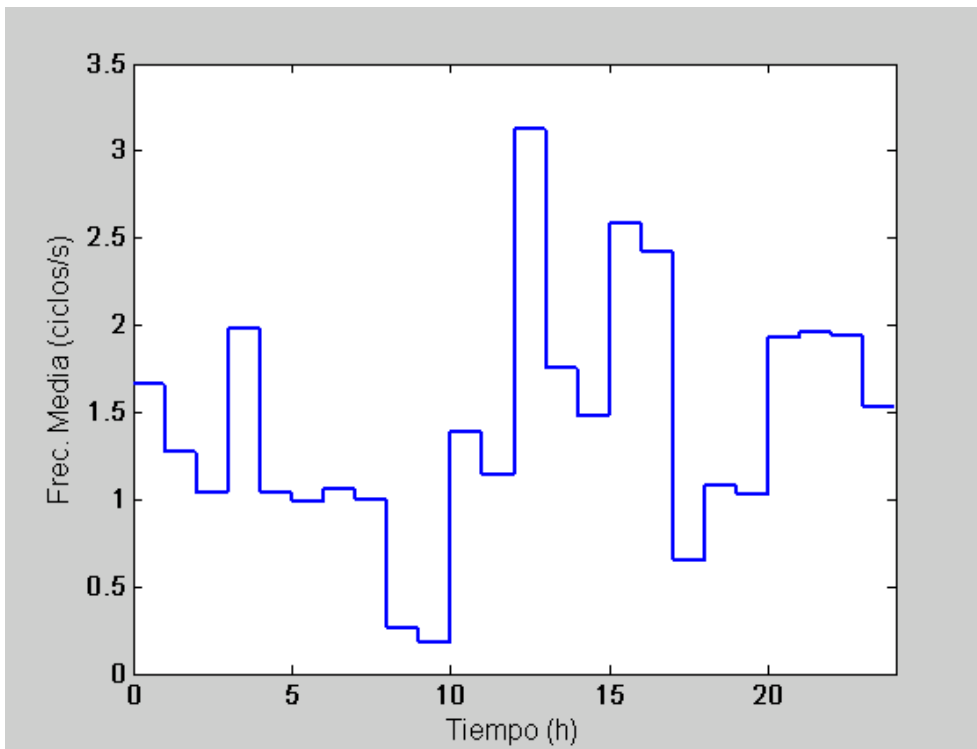


Figura 113. Frecuencia de conexión/desconexión del termo, 28-05-2014

7.5 CONFIGURACIÓN

La configuración como dato de entrada al programa del sistema de control energético IP-Symcon ha sido realizada a través de la interfaz web, en la que el usuario puede elegir las siguientes variables:

- Tarifa: Se permite la selección de las tres modalidades de PVPC existentes: PVPC 2.0A, PVPC 2.0DHA y PVPC 2.0DHS. En función de la modalidad elegida, el sistema de control tendrá en cuenta la variación de los precios de dicha modalidad para realizar el control de las cargas y presentar al usuario la variación del término de energía correcta.
- Programa de respuesta de la demanda: En esta variable el usuario decide si desea acogerse a un tipo de programa de respuesta de la demanda basado en señales de precio o señales de eventos.
- Localización: La localización elegida permite mostrar los datos meteorológicos en tiempo real y su descarga para realizar previsiones de la potencia consumida.
- Potencia contratada: El usuario debe de introducir la potencia que tiene contratada. El sistema de control analizará diariamente si el usuario podría tener una potencia contratada menor y la mostrará. Tras un año, el usuario será capaz de saber si es posible o no bajar la potencia contratada. Se han elegido para la programación del sistema de control las potencias monofásicas y trifásicas más comunes en el sector residencial. Estas corresponden a 230 V y son menores a 10 kW, para poder acogerse al PVPC. En la siguiente figura se muestran en amarillo las potencias activas normalizadas elegidas:

Tabla de potencias activas normalizadas

Intensidad (A)	Potencias normalizadas (kW)							
	Monofásicos				Trifásicos			
	U=127 V	U=133 V	U=220 V	U=230 V	3x127/220 V	3x133/230 V	3x220/380 V	3x230/400 V
1,5	0,191	0,200	0,330	0,345	0,572	0,598	0,987	1,039
3	0,381	0,399	0,660	0,690	1,143	1,195	1,975	2,078
3,5	0,445	0,466	0,770	0,805	1,334	1,394	2,304	2,425
5	0,635	0,665	1,100	1,150	1,905	1,992	3,291	3,464
7,5	0,953	0,998	1,650	1,725	2,858	2,988	4,936	5,196
10	1,270	1,330	2,200	2,300	3,811	3,984	6,582	6,928
15	1,905	1,995	3,300	3,450	5,716	5,976	9,873	10,392
20	2,540	2,660	4,400	4,600	7,621	7,967	13,164	13,856
25	3,175	3,325	5,500	5,750	9,526	9,959	16,454	17,321
30	3,810	3,990	6,600	6,900	11,432	11,951	19,745	20,785
35	4,445	4,655	7,700	8,050	13,337	13,943	23,036	24,249
40	5,080	5,320	8,800	9,200	15,242	15,935	26,327	27,713
45	5,715	5,985	9,900	10,350	17,147	17,927	29,618	31,177
50	6,350	6,650	11,000	11,500	19,053	19,919	32,909	34,641
63	8,001	8,379	13,860	14,490	24,006	25,097	41,465	43,648

Figura 114. Potencias activas normalizadas. Fuente [89]

- Control de cargas automático: El usuario puede decidir si desea que el control de las cargas lo realice automáticamente el sistema de control energético ante los datos de

entrada que reciba o si por el contrario únicamente desea que se le muestre un consejo de las cargas que debería de desconectar para realizarlo manualmente.

- Cargas a controlar: El usuario debe de elegir las cargas que tenga disponibles en su vivienda y que desea que sean objeto de análisis por el sistema de control energético. La configuración por parte del usuario le permite decidir voluntariamente qué cargas desea que sean controladas automáticamente.

La comunicación entre la interfaz web y el programa IP-Symcon se ha realizado guardando los datos introducidos por el usuario en un archivo .csv a través de un formulario HTML (figura 115), que pasa los datos a través del método POST.

The screenshot shows a web browser window with the URL `localhost/proyectoUPCT/web/configuración.html`. The page has a navigation bar with five tabs: 'PRECIOS', 'CONSUMO', 'CONSEJOS', 'DATOS', and 'CONFIGURACIÓN'. The 'CONFIGURACIÓN' tab is active. Below the navigation bar is a form titled 'Configuración' with the following fields:

Configuración	
Tarifa	PVPC 2.0A
Programa Respuesta Demanda	Precios
Localización	Murcia
Potencia Contratada Monofásica(kW)	-
Potencia Contratada Trifásica(kW)	6.928
Controlar Cargas Automáticamente	Si
Cargas	AC: <input checked="" type="checkbox"/> Calefacción: <input type="checkbox"/> Termo ACS: <input checked="" type="checkbox"/>

Below the form is a 'Configurar' button. At the bottom of the page, there is a footer with the text 'Proyecto UPCT-ETSII' on the left and 'Alejandro Marín Parra' on the right.

Figura 115. Interfaz web, configuración

El siguiente código recibe los datos y crea el archivo .csv:

```
<?php

//Recibe los datos de configuración
$array = $_POST;

//Guarda los datos si son recibidos
if($array){

//Archivo de configuración .csv
$archivo = fopen('C:\wamp\www\proyectoUPCT\web\configuracion.csv',
'w+');

//Encabezado del archivo
$encabezado=array('nombre','valor');
fputcsv($archivo,$encabezado,',' );
```

```

//Datos del archivo
$dato0=array('tarifa',$array['tarifa']);
$dato1=array('programa',$array['programa']);
$dato2=array('local',$array['local']);
$dato3=array('pot1',$array['pot1']);
$dato4=array('pot3',$array['pot3']);
$dato5=array('control',$array['control']);
@$dato6=array('carga1',$array["carga"][0]);
@$dato7=array('carga2',$array["carga"][1]);
@$dato8=array('carga3',$array["carga"][2]);
fputcsv($archivo,$dato0,';');
fputcsv($archivo,$dato1,';');
fputcsv($archivo,$dato2,';');
fputcsv($archivo,$dato3,';');
fputcsv($archivo,$dato4,';');
fputcsv($archivo,$dato5,';');
fputcsv($archivo,$dato6,';');
fputcsv($archivo,$dato7,';');
fputcsv($archivo,$dato8,';');
}
?>

```

A continuación, el programa IP-Symcon lee el archivo y guarda los valores en las variables creadas en este programa para tal propósito, para poder ser utilizadas posteriormente. El código PHP encargado de realizar dicha operación es el siguiente:

```

<?php

//Identificador de carpeta donde se alojan las variables de
configuración
$carpeta=47815 /*[pruebas\Variables configuración]*/;

//Se obtienen los datos y separan por filas y columnas en un array
$datos=file_get_contents('C:\wamp\www\proyectoUPCT\web\configuracion
.csv');
$exp =explode("\n",$datos);
for($i=0;$i<10;$i++){
$exp[$i]=explode(";", $exp[$i]);
}

//Se guardan los valores de los datos conrigurados por el usuario
SetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Tarifa",$carpeta),$exp[1][1]);
SetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Programa",$carpeta),$exp[2][1]);
SetValue(@IPS_GetVariableIDByName
("Localidad",$carpeta),$exp[3][1]);
SetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Potencia
Monofásica",$carpeta),$exp[4][1]);
SetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Potencia
Trifásica",$carpeta),$exp[5][1]);

```

```

SetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Control", $carpeta), $exp[6][1]);

//Almacenamiento de la selección del aire acondicionado
if (($exp[7][1]=='AC') || ($exp[8][1]=='AC') || ($exp[9][1]=='AC')) {
SetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Carga AC", $carpeta), true);
} else SetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Carga
AC", $carpeta), false);

//Almacenamiento de la selección de la calefacción
if (($exp[7][1]=='C') || ($exp[8][1]=='C') || ($exp[9][1]=='C')) {
SetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Carga
Calefacción", $carpeta), true);
} else SetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Carga
Calefacción", $carpeta), false);

//Almacenamiento de la selección termo
if (($exp[7][1]=='T') || ($exp[8][1]=='T') || ($exp[9][1]=='T')) {
SetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Carga Termo", $carpeta), true);
} else SetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Carga
Termo", $carpeta), false);

?>

```

La figura 116 muestra la implementación en IP-Symcon de estas variables, en las que el usuario ha elegido controlar automáticamente el aire acondicionado y el termo mediante un programa de respuesta de la demanda basado en precios. La potencia contratada es de 6,93 kW trifásica y se encuentra en la localidad de Murcia.

ObjectID	Location\Object	Type	Value	Updated
0	IP-Symcon			
20543	Ejecutables			
17731	No Web Front			
29082	pruebas			
32705	Consejos			
47815	Variables configuración			
11695	Carga AC	Boolean	True	13:34:24
15544	Carga Calefacción	Boolean	False	13:34:24
56571	Carga Termo	Boolean	True	13:34:24
50959	Control	Boolean	True	13:34:24
31596	Localidad	String	Murcia	13:34:24
45961	Potencia Monofásica	Float	0	Never
27447	Potencia Trifásica	Float	6,928	13:34:24
54174	Programa	String	precios	13:34:24
55773	Tarifa	String	PVPC1	13:34:24
48862	Configuración	Script	48862.ips.php	13:34:24

Figura 116. IP-Symcon: Variables de configuración

CAPÍTULO 8:

DATOS DE SALIDA DEL SISTEMA DE CONTROL ENERGÉTICO

El sistema de control energético tiene como salidas la conexión y desconexión de cargas eléctricas y proporcionar información al usuario a través de la interfaz web, en la que se muestran los precios actuales y su previsión de la modalidad de PVPC elegida por el usuario, la evolución del consumo actual y su previsión, la muestra de los datos meteorológicos, la posibilidad de descargar los datos almacenados y finalmente mostrar consejos que ayuden al usuario a mejorar su perfil de consumo.

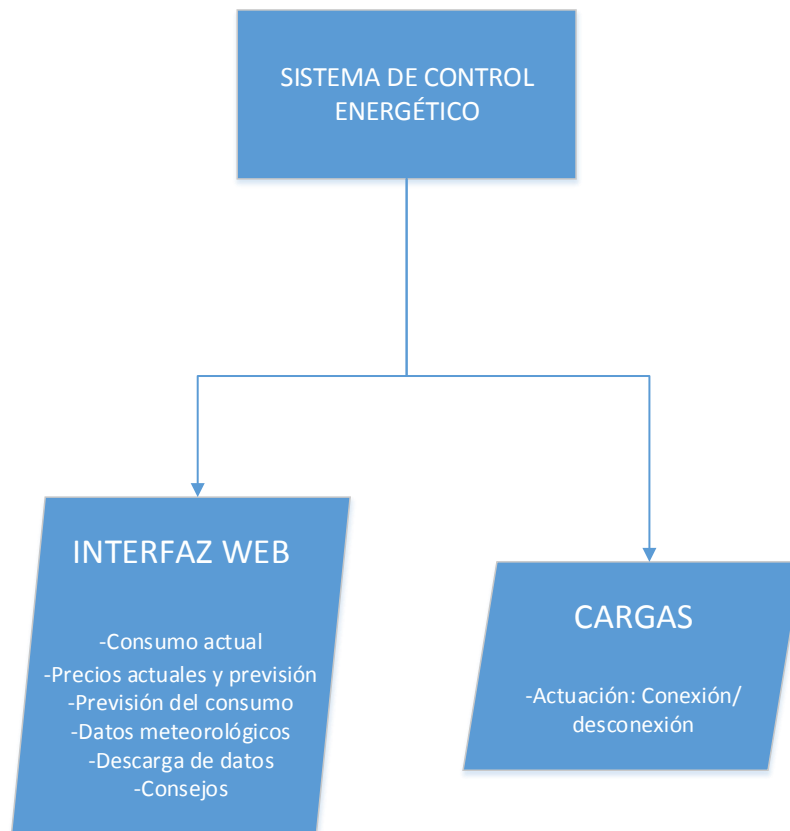


Figura 117. Salidas del sistema de control energético

8.1 ACTUACIÓN SOBRE CARGAS

Como se comentó en el capítulo anterior, la conexión y desconexión automática de las cargas se produce ante dos tipos de señales: de precio y eventos.

8.1.1 ACTUACIÓN ANTE SEÑAL DE EVENTO

La señal de evento es recibida por el programa IP-Symcon y almacenada en una variable. Esta variable únicamente puede tener dos valores: verdadero o falso. Ante una señal de evento, la variable cambia de estado a verdadero y durante la duración configurada, las cargas disponibles para este programa deben de desconectarse. Para ello, el siguiente código ejecutado ante un cambio de la variable señal de evento a verdadero, es capaz de desconectar las cargas configuradas por el usuario durante una hora, en el caso de que el control sea automático. En caso contrario, se mostrará como consejo:

```
<?php

//Se identifican las carpetas donde se alojan los consejos y la
configuración
$carpetaconfiguracion=47815 /*[Alejandro\Variables configuración]*/;
$carpetaconsejos=32705 /*[Alejandro\Consejos]*/;
$duracion=3590;

//Identificación de los dispositivos FS20 de las cargas a controlar
$idAC=27204 /*[Alejandro\Cargas\FS20 AC]*/;
$idcalefaccion=10034 /*[Alejandro\Cargas\FS20 Calefacción]*/;
$idtermo=32855 /*[Alejandro\Cargas\FS20 Termo]*/;
$idfrigorifico=24309/*[Alejandro\Cargas\FS20 Frigorífico]*/;

//Obtención de las cargas configuradas por el usuario
$configuracioncontrol=GetValue(@IPS_GetVariableIDByName
("Control",$carpetaconfiguracion));
$configuracionAC=GetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Carga
AC",$carpetaconfiguracion));
$configuracioncalefaccion=GetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Carga
Calefacción",$carpetaconfiguracion));
$configuraciontermo=GetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Carga
Termo",$carpetaconfiguracion));

//En caso de que esté seleccionado el control automático y las
cargas correspondientes, se desconectan durante una hora
if($configuracioncontrol){
if($configuracionAC)FS20_SwitchDuration($idAC, false, $duracion);
if($configuracioncalefaccion)FS20_SwitchDuration($idcalefaccion,
false, $duracion);
if($configuraciontermo)FS20_SwitchDuration($idtermo, false,
$duracion);

//El frigorífico no es seleccionado por el usuario, siempre
responderá ante eventos
FS20_SwitchDuration($idfrigorifico, false, $duracion);
}

//En caso de que el control sea manual, se muestra al usuario un
mensaje
```

```

else{
$consejo='Señal de evento. Desconectar cargas';
SetValue (@IPS_GetVariableIDByName ("Consejo
4", $carpetaconsejos), $consejo);
}
?>

```

La figura 118 muestra la implementación en IP-Symcon de los dispositivos FS20 de las cargas de aire acondicionado, calefacción, frigorífico y termo. El script anterior ante una señal de evento cambiará la variable “Status” de los dispositivos conectados de On a Off.

ObjectID	Location/Object	Type	Value	Updated
0	IP-Symcon			
29082	Alejandro			
58606	Cargas			
27204	FS20 AC	FS20		N/A
42662	Data	Integer	24	20:10:58
31736	Timer	Integer	0	20:10:58
28767	Status	Boolean	On	20:11:45
46442	Intensity	Integer	0 %	Never
10034	FS20 Calefacción	FS20		N/A
19336	Data	Integer	24	20:10:58
26038	Timer	Integer	0	20:10:58
28610	Status	Boolean	Off	20:11:53
22522	Intensity	Integer	0 %	Never
24309	FS20 Frigorífico	FS20		N/A
21827	Data	Integer	24	20:10:58
55689	Timer	Integer	0	20:10:58
50778	Status	Boolean	On	20:11:55
30536	Intensity	Integer	0 %	Never
32855	FS20 Termo	FS20		N/A
48297	Data	Integer	24	20:10:58
14131	Timer	Integer	0	20:10:58
39258	Status	Boolean	On	20:11:58
49840	Intensity	Integer	0 %	Never
18943	Administrar cargas eventos	Script	18943.ips.php	20:06:15
20787	Administrar cargas precios	Script	20787.ips.php	19:24:14

Figura 118. IP-Symcon: Dispositivos FS20

8.1.2 ACTUACIÓN ANTE SEÑAL DE PRECIO

La actuación ante señales de precio no resulta tan sencilla como la anterior. En este trabajo se ha decidido actuar durante las dos horas de precio máximo de cada día. Además, se ha comprobado si existen otras dos horas en la que la previsión del término económico final (energía consumida por precio) es mayor. La previsión de la potencia se ha realizado cogiendo los datos horarios del día anterior. Las cargas que responden ante señales de precios son el aire acondicionado, calefacción y termo. El termo posee un consumo bastante regular a lo largo del día (apartado 6.2.6), por lo que la variación de la potencia a lo largo del día no es debida a esta carga, sino a cargas como el aire acondicionado y calefacción, que son sobre las que se tendrá en cuenta la previsión de potencia para actuar sobre ellas. Se ha comprobado que no se puedan

producir dos eventos en dos horas seguidas, ya que es un tiempo demasiado amplio para actuar sobre cargas como el aire acondicionado o calefacción de una manera automática.

El siguiente código es ejecutado al inicio de cada hora y comprueba si dicha hora corresponde a una señal de precio y en caso afirmativo realiza el control automático de las cargas configuradas por el usuario o muestra un mensaje. Se ha realizado además un flujograma (figura 119) que pretende ayudar en la comprensión del código.

```
<?php

//Identificadores de dispositivos FS20
$idAC=27204 /*[Alejandro\Cargas\FS20 AC]*/;
$idcalefaccion=10034 /*[Alejandro\Cargas\FS20 Calefacción]*/;
$idtermo=32855 /*[Alejandro\Cargas\FS20 Termo]*/;

//Carpetas de configuración, consejos y usuario
$carpetaconfiguracion=47815 /*[Alejandro\Variables configuración]*/;
$carpetaconsejos=32705 /*[Alejandro\Consejos]*/;
$usuario='Alejandro';

//Obtención de los precios PVPC
$fecha=date("Ymd");
$datos=file_get_contents('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\pvpc\pvpc_'
.$fecha.'.csv');
$exp =explode("\n",$datos);
for ($i=0;$i<3;$i++) {
$exp[$i]=explode(";", $exp[$i]);
}
for ($i=0;$i<24;$i++) {
$datos1[$i]=$exp[0][$i]/10;
}
for ($i=0;$i<24;$i++) {
$datos2[$i]=$exp[1][$i]/10;
}
for ($i=0;$i<24;$i++) {
$datos3[$i]=$exp[2][$i]/10;
}

//Obtención de la configuración del usuario
$configuracion=file_get_contents('C:\wamp\www\proyectoUPCT\web\confi
guracion.csv');
$exp =explode("\n",$configuracion);
for ($i=0;$i<10;$i++) {
$exp[$i]=explode(";", $exp[$i]);
}

//Tarifa contratada
$contratadaPVPC=$exp[1][1];

//Se guardan los datos de la modalidad de PVPC correspondiente
```

```

if ($contratadaPVPC=='PVPC1') $precios=$datos1;
if ($contratadaPVPC=='PVPC2') $precios=$datos2;
if ($contratadaPVPC=='PVPC3') $precios=$datos3;

//Se ordenan los precios de mayor a menor
arsort ($precios);

//Se obtienen el identificador de cada precio, que es la hora
$hora=array_keys ($precios);

//Hora a la que se ejecuta el código
$fecha2=date ("H");

//Evalúa si la hora es una de las 2 de mayor precio y si la hora
anterior hubo un evento
if ($fecha2==$hora[0] || $fecha2==$hora[1]) {
if ($fecha2!=0) {
if (($fecha2-1) !=$hora[0] && ($fecha2-1) !=$hora[0]) {
$precio=true;
}
}
}
else $precio=false;

//Datos de potencia del día anterior
$fecha3=date ('d-m-Y', strtotime ("-1 day"));
$datospot=file_get_contents ('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\potencia
\horarios"."$fecha3".'.csv');
$exppot=explode ("\n", $datospot);
$num=count ($exppot);
for ($i=0; $i<$num-1; $i++) {
    $exppot[$i]=explode (";", $exppot[$i]);
}

//Finalmente se obtiene el precio de cada una de las modalidades
sumando la multiplicación del consumo de todas las horas del mes por
su precio correspondiente
for ($j=1; $j<=24; $j++) {
if ($contratadaPVPC=='PVPC1') $precioPVPC[$j-
1]=($exppot[$j][1]*$datos1[$j-1])/1000000;
if ($contratadaPVPC=='PVPC2') $precioPVPC[$j-
1]=($exppot[$j][1]*$datos2[$j-1])/1000000;
if ($contratadaPVPC=='PVPC3') $precioPVPC[$j-
1]=($exppot[$j][1]*$datos3[$j-1])/1000000;
}

//Ordena los precios finales de mayor a menor y obtiene las horas en
los que se producen
arsort ($precioPVPC);
$horapot=array_keys ($precioPVPC);

//En el caso de que la hora anterior no hubiera un evento y de que
sea una de las horas con mayor consumo, se actúa sobre las cargas

```



```

if ($fecha2==$horapot[0] || $fecha2==$horapot[1]) {
if ($fecha2!=0) {
if (($fecha2-1) !=$horapot[0] && ($fecha2-1) !=$horapot[0]) {
$preciopotencia=true;
}
}
}
else $preciopotencia=false;

//Configuración de las cargas del usuario
$configuracionAC=GetValue (@IPS_GetVariableIDByName ("Carga
AC", $carpetaconfiguracion));
$configuracioncalefaccion=GetValue (@IPS_GetVariableIDByName ("Carga
Calefacción", $carpetaconfiguracion));
$configuraciontermo=GetValue (@IPS_GetVariableIDByName ("Carga
Termo", $carpetaconfiguracion));

//Control automático o manual
$configuracioncontrol=GetValue (@IPS_GetVariableIDByName
("Control", $carpetaconfiguracion));

//Actuación sobre aire acondicionado
if ($precio&&$configuracionAC || $preciopotencia&&$configuracionAC) {

//Margen de 10 segundos
if ($configuracioncontrol) {

//Actuación automática
FS20_SwitchDuration ($idAC, false, 3590);
}
else {
//Actuación manual, se guarda consejo
$consejo1='Desconectar Aire Acondicionado';
SetValue (@IPS_GetVariableIDByName ("Consejo
1", $carpetaconsejos), $consejo1);
}
}

//Calefacción
if ($precio&&$configuracioncalefaccion || $preciopotencia&&$configuraci
oncalefaccion) {
if ($configuracioncontrol) FS20_SwitchDuration ($idcalefaccion, false,
3590);
else {

//&#243; es ó en HTML
$consejo2='Desconectar Calefacci&#243;n';
SetValue (@IPS_GetVariableIDByName ("Consejo
2", $carpetaconsejos), $consejo2);
}
}

//Termo

```

```

if ($precio&&$configuraciontermo) {
if ($configuracioncontrol) FS20_SwitchDuration($idtermo, false, 3590);
else{
$consejo3='Desconectar Termo';
SetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Consejo
3", $carpetaconsejos), $consejo3);
}
}
?>

```

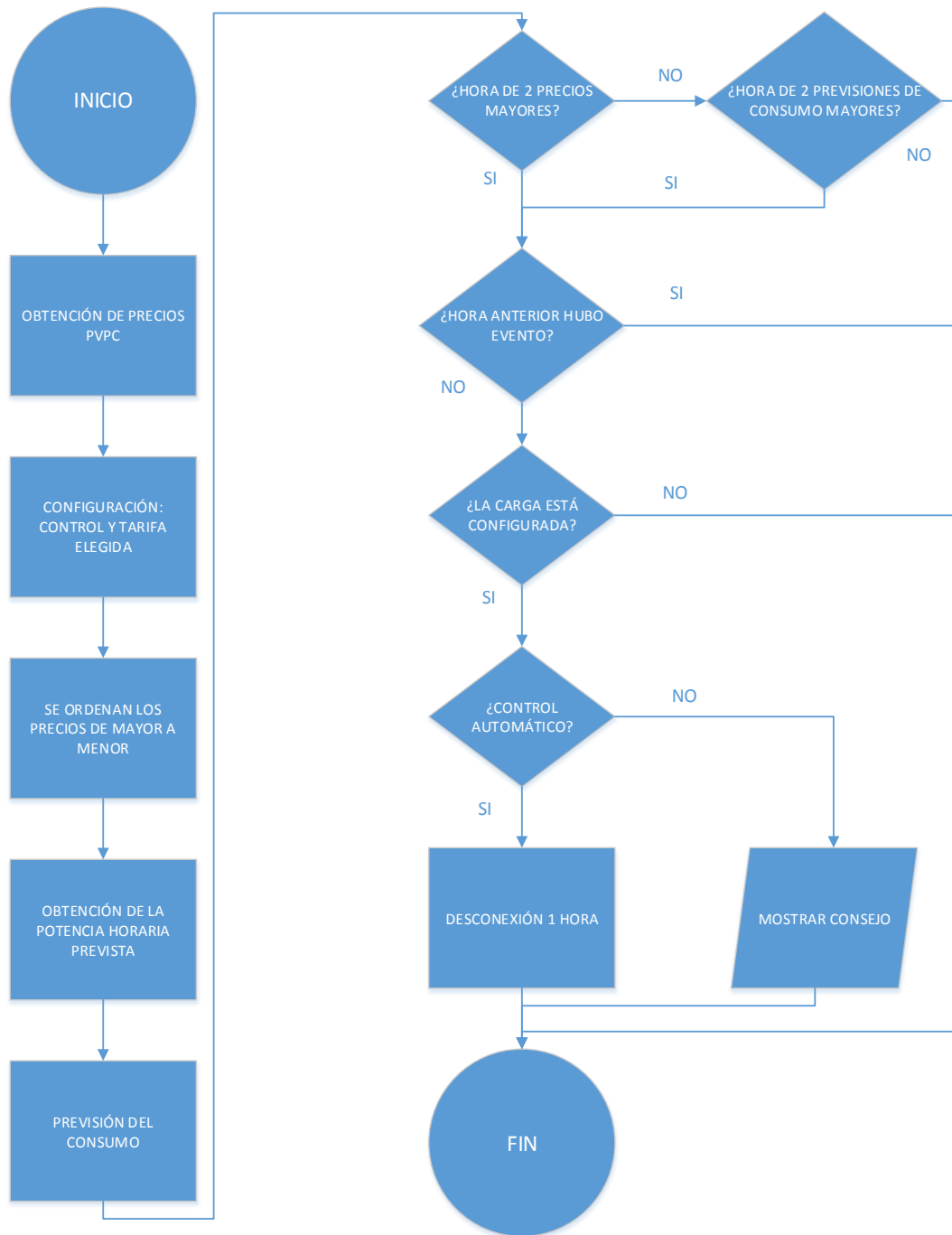


Figura 119. Flujograma del control de cargas ante precios

8.2 INTERFAZ WEB

La interfaz web ha sido creada con el lenguaje de programación HTML y se han diferenciado las 5 pestañas siguientes:

- Precios: Muestra al usuario el precio correspondiente del término de energía del mismo día, día siguiente y previsión según la modalidad de PVPC elegida.
- Consumo: Permite la visualización de una gráfica que muestra la demanda de potencia en tiempo real y una previsión de la demanda que va a consumir durante el día.
- Consejos: Permite mostrar al usuario recomendaciones para mejorar su perfil de consumo.
- Datos: El usuario es capaz de acceder a los datos almacenados en esta pestaña.
- Configuración: Permite que el usuario personalice el sistema de control energético de una manera sencilla.

Cada una de estas pestañas es un archivo HTML o PHP distinto, cuya transición se marca con el siguiente código, en el que se marca la pestaña seleccionada por el usuario por la clase "activa", lo que hace que cambie de tonalidad la pestaña elegida.

```
<li><a href="precios.php" >Precios</a></li>
<li><a href="consumo.html">Consumo</a></li>
<li><a href="consejos.php">Consejos</a></li>
<li><a href="datos.html" class="activa">Datos</a></li>
<li><a href="configuración.html">Configuración</a></li>
```

8.2.1 CONSUMO ACTUAL

La representación de la potencia consumida en tiempo real es una de las partes más importantes de la interfaz gráfica del sistema de control energético para el usuario, ya que le permite ser consciente del consumo en tiempo real y del cambio de consumo que produce la actuación del sistema de control energético. Por ejemplo, ante una señal de precio alto con el aire acondicionado en funcionamiento, el sistema de control puede determinar su apagado. El usuario, verá en tiempo real cómo afecta a la potencia demandada la desconexión de esta carga, por lo que tomará conciencia sobre el gasto energético de las cargas de su residencia y la consiguiente repercusión en el ahorro en su factura eléctrica.

Para la elaboración de las gráficas de potencia consumida en tiempo real se ha decidido programar completamente el código para su elaboración. Esto es debido a que se ha considerado una parte fundamental de los programas de respuesta de la demanda, por lo que

programando íntegramente el código se asegura que únicamente se utilizarán las líneas de código necesarias para su visualización, lo que no ocurre con la instalación de librerías, que disponen de una gran cantidad de funciones para representar diferentes tipos de gráficas. Como consecuencia, se pretende que el tiempo de ejecución de la gráfica sea menor y el dispositivo consuma menos recursos para su realización. Además, la programación íntegra del código evita problemas de compatibilidad de las librerías en diferentes sistemas operativos de su instalación. Muchas de las librerías en PHP para la elaboración de funciones requieren de una conexión a internet para solicitar algunos datos, lo que se evita con la solución elegida, permitiendo que el usuario sea siempre capaz de visualizar su consumo sin necesidad de estar conectado a internet.

Para una mejor comprensión del código programado, se ha dividido la elaboración de las gráficas en tres scripts. El primero de ellos se encarga de elaborar el fondo de la gráfica, el segundo contiene algunas funciones y el tercero requiere estas funciones y los datos de la potencia para la elaboración final de la gráfica.

8.2.1.1 FONDO DE GRÁFICA

El siguiente código realiza el fondo de la gráfica, que es ejecutado únicamente una vez, ya que se utilizará siempre el mismo. Se ha realizado el código de tal manera que el usuario pueda personalizar los colores a su gusto. Para ello, se han elaborado dos funciones: La función `hex2rgb`, que convierte los colores en formato hexadecimal a formato RGB y la función `gradiente`, a la que se le pasan como argumento los colores elegidos por el usuario y crea el fondo. El código es el siguiente:

```
<?php

//Función gradiente
function gradiente($ancho, $salto, $colores, $hex=true) {

//Crea una imagen negra de tamaño $ancho x $salto
$im=imagecreatetruecolor($ancho,$salto);

// Convierte los valores hexadecimales a RGB
if($hex) {
    for($i=0;$i<=3;$i++) {
        $colores[$i]=hex2rgb($colores[$i]);
    }
}

// Se empieza por el color superior izquierdo
$rgb=$colores[0];
```

```

//Recorre la imagen pixel por pixel
//Posición pixel ancho
for ($x=0;$x<=$ancho;$x++) {

//Posición pixel alto
for ($y=0;$y<=$alto;$y++) {

//Devuelve el identificador con los colores RGB que toquen
$col=imagecolorallocate($im,$rgb[0],$rgb[1],$rgb[2]);

//Dibuja un pixel en las coordenadas especificadas con el color
correspondiente
imagepixel($im,$x-1,$y-1,$col);

//Calcula un nuevo color. Se tiene en cuenta el total de píxeles y
los colores elegidos para que según la posición del píxel a colorear
cambie el color progresivamente hasta los píxeles de las esquinas,
que tendrán el color elegido
for ($i=0;$i<=2;$i++) {
$rgb[$i]=
$colores[0][$i]*(($ancho-$x)*($alto-$y)/($ancho*$alto)) +
$colores[1][$i]*($x*($alto-$y)/($ancho*$alto)) +
$colores[2][$i]*(($ancho-$x)*$y/($ancho*$alto)) +
$colores[3][$i]*($x*$y/($ancho*$alto));
}
}
}

//La función devuelve la imagen
return $im;
}

//Función que devuelve los colores hexadecimales en formato RGB
function hex2rgb($hex)
{
$rgb[0]=hexdec(substr($hex,1,2));
$rgb[1]=hexdec(substr($hex,3,2));
$rgb[2]=hexdec(substr($hex,5,2));
return($rgb);
}

//Tamaño de la imagen
$ancho=960;
$alto=562.5;

//Colores a elegir por el usuario
$violeta='#909090';
$blanco=' #FFFFFF';
$violeta2=' #9090FF';
$rojo='#FF6600';
$verde='#00aa00';
$azul='#0033CC';

```

```

//Colores elegidos
$gamacolores=array($violeta,$blanco,$rojo,$verde);

//Invoca a la función gradiente, que devuelve la imagen
$grafica=gradiente($ancho, $alto,$gamacolores);

//Dirección donde se guarda la imagen
$directorio='C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\grafica\fondo.png';

//Guarda la imagen
imagepng($grafica, $directorio);

//Borra los datos guardados en la generación de la imagen
imagedestroy($grafica);

?>

```

El resultado del código con los colores elegidos de violeta, blanco, rojo y verde es el siguiente fondo:

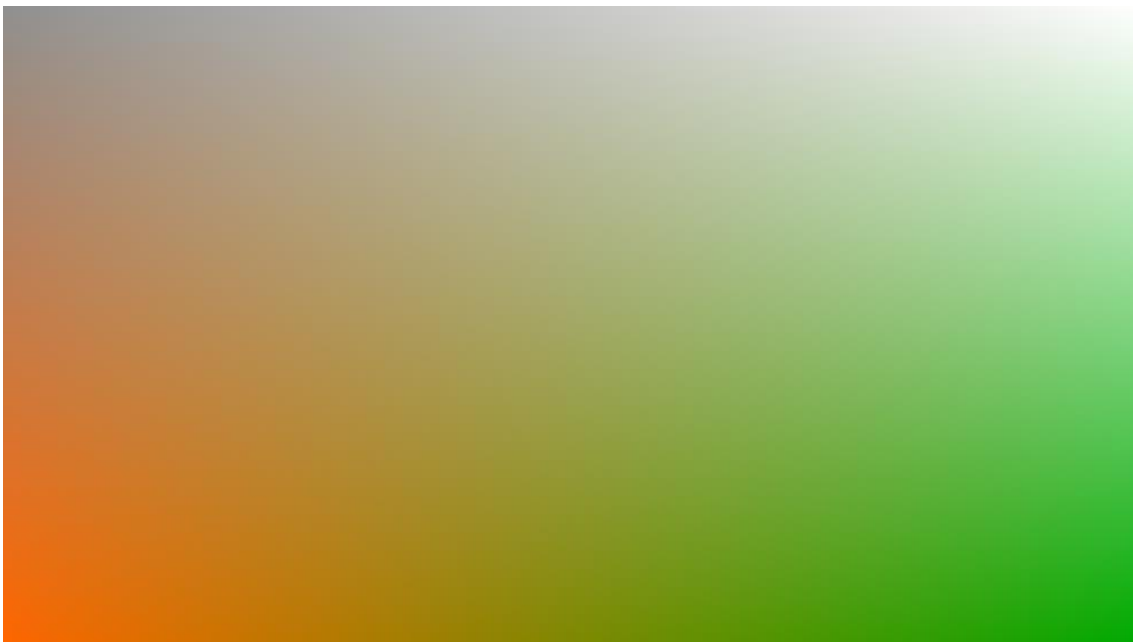


Figura 120. Fondo de gráfica para consumo en tiempo real

8.2.1.2 FUNCIONES PARA LA ELABORACIÓN DE LA GRÁFICA

A continuación se presenta el código de las funciones que dibujan la línea y la leyenda del eje x:

```
<?php
```

```

//Esta función devuelve los valores de la variable en el intervalo
de tiempo entre $inicio y $fin
function ObtenerValores($identificadorArchivo,
$identificadorVariable, $inicio, $fin, $limite)
{
//Guarda los datos de la variable
$valores = AC_GetLoggedValues($identificadorArchivo,
$identificadorVariable, $inicio, $fin, $limite );

//En el caso de que no existan valores en ese intervalo de tiempo o
no exista un valor para el tiempo inicial, se coge el valor anterior
if((sizeof($valores) == 0) || (end($valores)['TimeStamp'] >
$inicio))
{
$anteriores = AC_GetLoggedValues($identificadorArchivo,
$identificadorVariable, 0, $inicio - 1, 1 );
}

//Junta el valor anterior al inicio
$valores = array_merge($valores, $anteriores);
}

//Devuelve los datos
return $valores;
}

//La función línea se encarga de dibujar la imagen
function Linea($Variable,$grafica,$identificadorArchivo,
$ancho,$salto,$ancho_grafica,$salto_grafica,$margen_derecho,$Max,$Min,
$z,$Boolfactor,$tiempo)
{
//Se han distinguido 5 tipos de graficas: De 1 hora, 24 horas, 1
semana, 1 mes y 1 año
//Guarda el número de horas de la gráfica elegida
if($tiempo==1){$horas=1;}
if($tiempo==2){$horas=24;}
if($tiempo==3){$horas=7*24;}
if($tiempo==4){$horas=31*24;}
if($tiempo==5){$horas=365*24;}

//Obtiene los valores entre el tiempo actual y la duración elegida
$Linea=ObtenerValores($identificadorArchivo,$Variable,(time()-
$horas*60*60),time(),0);

//Se obtienen cuántos segundos corresponde a cada pixel
$factor_x=($horas*60*60/$ancho_grafica);

//Potencia en W que corresponde a cada pixel
$factor_y=($Max-$Min)/$salto_grafica;

//Guarda el tiempo actual
$tiempo=time();
}

```

```

//Último valor en el tiempo
    $valor=$Linea[0];

//Posición horizontal donde comenzar a dibujar
    $xalt=$ancho-$margen_derecho;

//Posición vertical donde comenzar a dibujar
    $yalt=$salto-30-round(($valor['Value']-$Min)/$factor_y);

//Recorre todos los valores de los datos
    foreach($Linea as $a) {

//Posición horizontal del siguiente valor
        $x=$ancho-$margen_derecho-round(($tiempo-
$a['TimeStamp'])/$factor_x);

//Posición vertical del siguiente valor
        $y=$salto-30-round(($a['Value']-$Min)/$factor_y);
        if ($x < ($ancho-$margen_derecho-
$ancho_grafica)) {$x=($ancho-$margen_derecho-$ancho_grafica);}

//Dibuja una línea en el fondo $grafica entre los puntos
($xalt,$yalt) y ($x,$y) con el color $z
        imageline ($grafica , $xalt , $yalt , $x , $y , $z );
        $xalt=$x; $yalt=$y;
    }
}

//Función LeyendaEjeX:Dibuja los valores de la leyenda del eje x
según el tiempo seleccionado

function
LeyendaEjeX($horas,$grafica,$borde_derecho,$margen_derecho,$salto,$an-
cho,$negro,$ancho_grafica)
{
$tiempo=time();

//Gráfica para la última hora
if ($horas == 1)
{
    $TextoX=date("H:i",$tiempo-60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho-15, ($salto-20),
$TextoX, $negro);

    $TextoX=date("H:i",$tiempo-15*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/4*3-
15, ($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("H:i",$tiempo-30*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/2-15,
($salto-20), $TextoX, $negro);
}
}

```



```

    $TextoX=date("H:i", $tiempo-45*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/4-15,
($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("H:i", $tiempo);
    imagestring($grafica, 2, $ancho-$margen_derecho-15, ($salto-
20), $TextoX, $negro);
}

//Gráfica para el último día
if ($horas== 2)
{
    $TextoX=date("H:i", $tiempo-24*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho-15, ($salto-20),
$TextoX, $negro);

    $TextoX=date("H:i", $tiempo-6*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/4*3-
15, ($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("H:i", $tiempo-12*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/2-15,
($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("H:i", $tiempo-18*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/4-15,
($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("H:i", $tiempo);
    imagestring($grafica, 2, $ancho-$margen_derecho-15, ($salto-
20), $TextoX, $negro);
}

//Gráfica para la última semana
if ($tiempo == 3)
{
    $TextoX=date("d.M", $tiempo-7*24*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho-15, ($salto-20),
$TextoX, $negro);

    $TextoX=date("d.M", $tiempo-7/4*24*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/4*3-
15, ($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("d.M", $tiempo-7/4*2*24*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/2-15,
($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("d.M", $tiempo-7/4*3*24*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/4-15,
($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("d.M", $tiempo);
}

```

```

    imagestring($grafica, 2, $ancho-$margen_derecho-15, ($salto-
20), $TextoX, $negro);
}

//Gráfica para el último mes
if ($tiempo == 4)
{
    $TextoX=date("d.M", $tiempo-31*24*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho-15, ($salto-20),
$TextoX, $negro);

    $TextoX=date("d.M", $tiempo-31/4*2460*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/4*3-
15, ($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("d.M", $tiempo-31/2*24*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/2-15,
($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("d.M", $tiempo-31/4*3*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/4-15,
($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("d.M", $tiempo);
    imagestring($grafica, 2, $ancho-$margen_derecho-15, ($salto-
20), $TextoX, $negro);
}

//Gráfica para el último año
if ($tiempo == 5)
{
    $TextoX=date("d.M", $tiempo-365*24*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho-15, ($salto-20),
$TextoX, $negro);

    $TextoX=date("d.M", $tiempo-92*24*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/4*3-
15, ($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("d.M", $tiempo-183*24*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/2-15,
($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("d.M", $tiempo-274*24*60*60);
    imagestring($grafica, 2, $borde_derecho+$ancho_grafica/4-15,
($salto-20), $TextoX, $negro);

    $TextoX=date("d.M", $tiempo);
    imagestring($grafica, 2, $ancho-$margen_derecho-15, ($salto-
20), $TextoX, $negro);
}
}
?>

```

8.2.1.3 CONSTRUCCIÓN DE LA GRÁFICA

Finalmente el siguiente código invoca a las tres funciones definidas anteriormente para dibujar la variable potencia:

```
<?php

$usuario='Alejandro';

//Gráfica para la última hora
$horas=1;

//Identificador de la variable a dibujar
$Variable1=32811 /*Variable PotenciaZWave*/;

//Código que contiene las funciones ObtenerValores, Linea y
LeyendaEjeX
require_once("33590.ips.php");

//Identificador para administrar archivos
$identificadorArchivo=16661 /*[Archive]*/;

//Guarda el fondo de la gráfica
$fondo='C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\grafica\fondo.png';
$grafica=imagecreatefrompng($fondo);

//Directorio donde guardar la gráfica
$file='C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\grafica\grafica.jpg';

//Dimensiones del fondo
$tamaño = getimagesize($fondo);
$ancho=$tamaño[0];
$alto=$tamaño[1];

//Se establecen los márgenes
//Borde izquierdo para el etiquetado
$borde_derecho=60;

//Esquina para título y leyenda
$margen_titulo=40;

//Margen derecho
$margen_derecho=20;

//Devuelve el identificador del color introducido en RGB
$negro=imagecolorallocate($grafica,0,0,0);
$gris=imagecolorallocate($grafica,150,150,150);
$azul=imagecolorallocate($grafica,0,0,255);

//Dibuja el título de la gráfica
$título ='Potencia ZWave';
$ancho_texto = imagefontwidth(5);
$longitud_texto = strlen($título);
```

```

$ancho_total = $longitud_texto*$ancho_texto;
imagestring($grafica, 5, ((600/2)-($ancho_total/2)), 2, $titulo,
$negro);

$tiempo=time();
//Se obtienen los valores a dibujar según la gráfica a dibujar
    if ($horas == 1)
    {

$datosGuardados=AC_GetLoggedValues($identificadorArchivo,$Variable1,
time()-60*60,time(),0);
    }

    if ($horas == 2)
    {

$datosGuardados=AC_GetLoggedValues($identificadorArchivo,$Variable1,
time()-24*60*60,time(),0);
    }

    if ($horas == 3)
    {

$datosGuardados=AC_GetLoggedValues($identificadorArchivo,$Variable1,
time()-7*24*60*60,time(),0);
    }

    if ($horas == 4)
    {

$datosGuardados=AC_GetLoggedValues($identificadorArchivo,$Variable1,
time()-31*24*60*60,time(),0);
    }

    if ($horas == 5)
    {

$datosGuardados=AC_GetLoggedValues($identificadorArchivo,$Variable1,
time()-365*24*60*60,time(),0);
    }

//Último valor
$valorActual=$datosGuardados[0]['Value'];

//Cálculo de la potencia media
$media=0;
$i=0;
foreach ($datosGuardados as $v)
{
    $cadaValor[] = $v['Value'];
    $media=$media+$v['Value'];
    $i++;
}
$media/=$i;

```

```

//Ordena los datos de mayor a menor
rsort($cadaValor,SORT_NUMERIC);

//Valor máximo
$Max=$cadaValor[0];

//Valor mínimo
$numero=count($cadaValor);
$Min=$cadaValor[$numero-1];

//Margen del 5% en el eje vertical en el área de dibujo
$Max_l=round(1.05*$Max);

//El valor mínimo del eje y es 0 W
$Min_l=0;

//Dibujo de las unidades de la potencia
imagestring($grafica, 3, 5, 20, 'W', $negro);

//Dibuja el usuario
imagestring($grafica, 2, $borde_derecho, 3, 'Usuario '.$usuario,
$azul);

//Ancho de la zona de dibujo
$ancho_grafica=$ancho-$borde_derecho-$margen_derecho;

//Alto de la zona de dibujo
$alto_grafica=$alto-$margen_titulo-30;

//Dimensiones de cada cuadrícula horizontal
$cuadrícula_x=$ancho_grafica/12;

//Dimensiones de las cuadrículas verticales
$cuadrícula_y=$alto_grafica/10;

//Dibuja las cuadrículas horizontales
for ($x=0; $x<=12; $x++)
{
    imageline ($grafica, ($ancho_grafica+$borde_derecho-
($cuadrícula_x*$x)), ($alto-30), ($ancho_grafica+$borde_derecho-
($cuadrícula_x*$x)), $margen_titulo, $gris );
}

//Dibuja las cuadrículas verticales
for ($x=0; $x<=10; $x++)
{
    imageline ($grafica, $borde_derecho,
($margen_titulo+$cuadrícula_y*$x), ($ancho-$margen_derecho),
($margen_titulo+$cuadrícula_y*$x), $gris );
}

//Dibuja la línea

```

```

Linea($Variable1,$grafica,$identificadorArchivo,$ancho,$salto,$ancho_
grafica,$salto_grafica,$margen_derecho,$Max_l,$Min_l,$azul,0,$horas);

//Dibuja la leyenda del eje x
LeyendaEjeX($horas,$grafica,$borde_derecho,$margen_derecho,$salto,$an
cho,$negro,$ancho_grafica);

//Leyenda del eje y
for ($i=0; $i<=10; $i++)
{
    $yText=round($Min_l+$i*($Max_l-$Min_l)/10,05);
    imagestring($grafica, 2, 5, $salto-38-($salto_grafica/10)*$i,
$yText, $negro);
}

//Imprime los valores máximo, mínimo, actual y medio
imagestring($grafica, 4, $borde_derecho+5, ($salto-
$salto_grafica+50), 'Máximo: '.number_format((float)$Max,2,',','.') .'
W', $negro);
imagestring($grafica, 4, $borde_derecho+5, ($salto-$salto_grafica-
20+50), 'Mínimo: '.number_format((float)$Min,2,',','.') .' W',
$negro);
imagestring($grafica, 4, $borde_derecho+5, ($salto-$salto_grafica-
40+50), 'Actual: '.number_format((float)$valorActual,2,',','.') .'
W', $negro);
imagestring($grafica, 4, $borde_derecho+5, ($salto-$salto_grafica-
60+50), 'Potencia Media: '.number_format((float)$media,2,',','.') .'
W', $negro);

//Guarda la gráfica obtenida
imagepng($grafica,$file);

//Borra los archivos intermedios de la creación de la gráfica
imagedestroy($grafica);

?>

```

El código anterior permite realizar gráficas con diferente intervalo de tiempo (una hora, un día, semana, mes y año). En la interfaz web programada se han mostrado las gráficas para los intervalos de una hora y un día, que permiten al usuario reconocer visualmente la variación de la potencia e identificarla con la conexión y desconexión de las cargas que tienen en su vivienda.

La figura 121 muestra la representación de la gráfica con el intervalo de tiempo de una hora, que permite al usuario visualizar la potencia que está consumiendo actualmente, la mínima y máxima consumida y la potencia media consumida en la última hora. Además, el intervalo de tiempo de una hora permite visualizar con precisión la conexión y desconexión de cargas. En la figura 121 concretamente se aprecia la conexión y desconexión del aparato de aire

acondicionado, el cual, durante su funcionamiento, hace que la potencia total demandada sea de 6438,29 W.

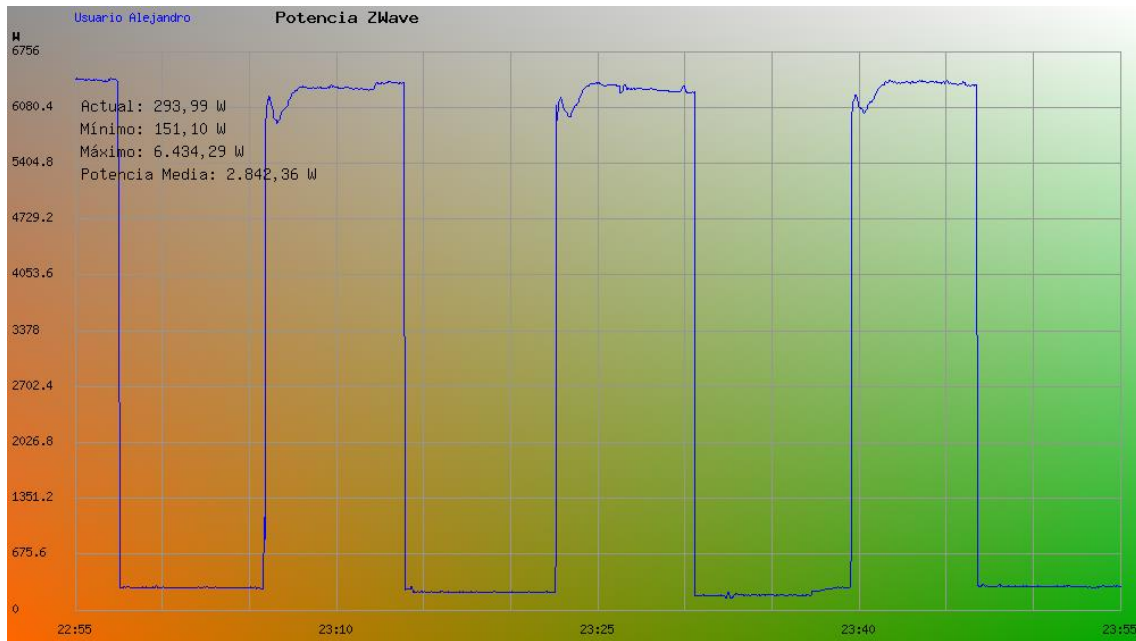


Figura 121. Gráfica de potencia con intervalo de una hora

8.2.2 PRECIOS ACTUALES Y PREVISIÓN

Para la representación gráfica del término de energía se ha optado por utilizar la librería Highcharts [90]. Se trata de una librería para gráficos interactivos muy extendida en su uso, de hecho, según afirma Highcharts, 59 de las 100 mayores compañías del mundo utilizan esta librería.

El término de energía ha sido guardado diariamente por el programa IP-Symcon en un archivo .csv, que es utilizado por la interfaz web para su representación. Para ello, se ha añadido al código HTML de la interfaz web, código PHP, que permite que sea dinámica, enseñando cada día precios diferentes y ajustando la web a la configuración del usuario.

En primer lugar se ha leído la configuración para saber qué modalidad tiene escogida el usuario:

```
<?php
//Se obtienen los datos de la configuración
$datos=file_get_contents('C:\wamp\www\proyectoUPCT\web\configuracion
.csv');
$exp =explode("\n",$datos);
for($i=0;$i<10;$i++){
    $exp[$i]=explode(";", $exp[$i]);
}
}
```

```
//Se guarda la modalidad de PVPC
$PVPC=$exp[1][1];

?>
```

A continuación se han guardado los valores de PVPC correspondientes al mismo día.

```
<?php

//Archivo con los valores de PVPC actuales
$fecha=date("Ymd");
$datos=file_get_contents('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\pvpc\pvpc_'
."$fecha"."csv');

//Obtención de los valores
$exp =explode("\n",$datos);
for($i=0;$i<3;$i++){
$exp[$i]=explode(";", $exp[$i]);
}

for($i=0;$i<24;$i++){
$datos1[$i]=$exp[0][$i]/10;
}
for($i=0;$i<24;$i++){
$datos2[$i]=$exp[1][$i]/10;
}
for($i=0;$i<24;$i++){
$datos3[$i]=$exp[2][$i]/10;
}

?>
```

La figura 122 muestra la gráfica que se ha presentado en la interfaz web con los precios diarios. No se ha explicado el código para la representación de la gráfica ya que únicamente hay que pasarle como datos de entrada los valores de los datos obtenidos con el script anterior, decidir la presentación y cambiar las leyendas y títulos.

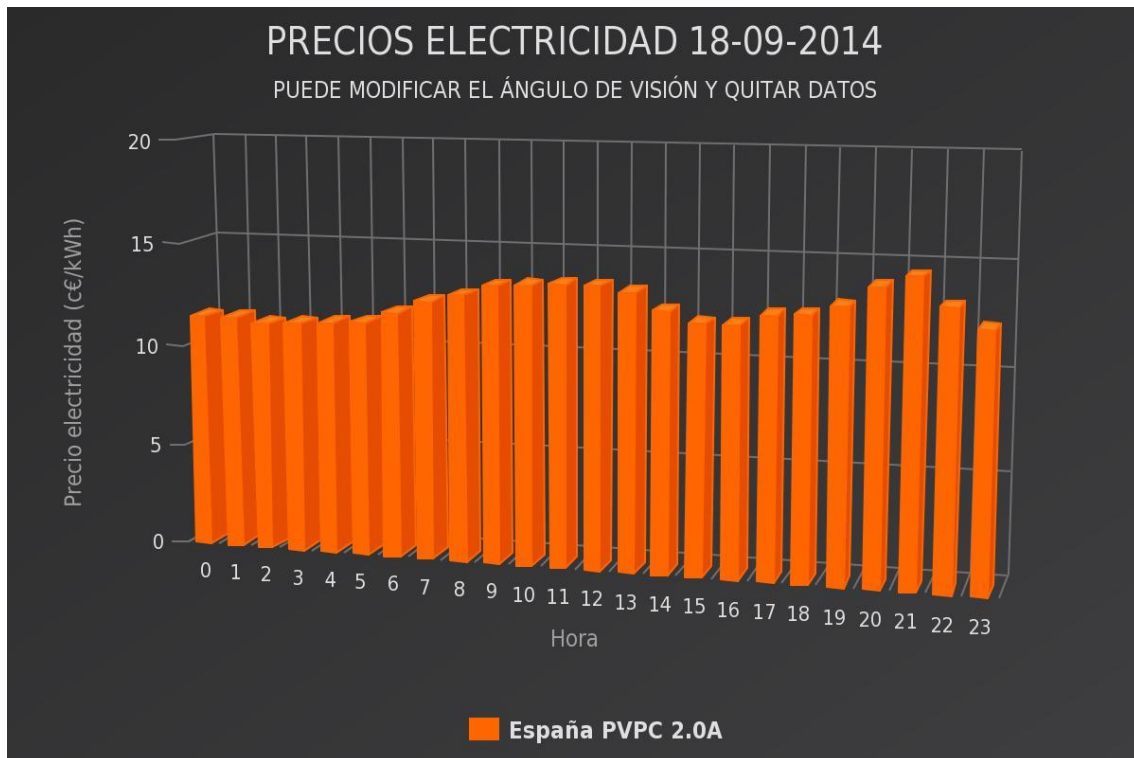


Figura 122. Gráfico término de energía, Highcharts

Los scripts anteriores permiten representar los datos de PVPC del mismo día, la representación de los datos previstos tiene un código similar, salvo que no se presenta en la web durante todas las horas, sino que entre las 14 y 21 aparecerán los datos previstos del día siguiente y a partir de las 21 se presentarán los datos ya definitivos sobre los precios de PVPC del día siguiente. El siguiente código define las variables.

```

<?php

$hora=date('H');

//Previsión de los precios
if($hora>13&&$hora<21){$prevision=true;}
else{$prevision=false;}

//Precios reales del día siguiente
if($hora>20&&$hora<=23){$prevision2=true;}
else{$prevision2=false;}

?>

//Invoca a la gráfica Highcharts adecuada según la hora
<?php if($prevision)echo '<iframe src="../PVPC prevision.php"
width="100%" height="500"></iframe>'?>
<?php if($prevision2)echo '<iframe src="../PVPC uno siguiente.php"
width="100%" height="500"></iframe>'?>

```

8.2.3 DESCARGA DE DATOS

Se ha ofrecido al usuario la posibilidad de descargar los datos que van siendo almacenados de la potencia consumida para que pueda consultarlos si lo desea. Para ello se ha creado un script que permite comprimir todos los archivos .csv que almacenan la potencia, descritos en el apartado 7.2 y que diferenciaban entre datos diarios, horarios y de 15 minutos. El siguiente código corresponde a la compresión de los datos diarios. Para el resto de datos únicamente hay que cambiar el directorio para que haga referencia a los datos adecuados. No se han programado en un mismo código ya que los tiempos de ejecución automáticos serán diferentes.

```
<?php

//Carpeta con los datos a comprimir
$directorio = 'datos/24horas/';

//Carpeta donde se guarda el archivo comprimido
$rutaFinal='C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\potencia\';

//Nombre del archivo una vez comprimido
$archivoZip = "Datos24horas.zip";

//Se crea un objeto Zip
$zip = new ZipArchive();

//Se invoca a la función agregar_zip para comprimir el archivo
if($zip->open($archivoZip,ZIPARCHIVE::CREATE)===true) {
agregar_zip($directorio, $zip);
$zip->close();

//Mueve el archivo a la dirección deseada
@rename($archivoZip, "$rutaFinal$archivoZip");

//Verificación de que el archivo ha sido comprimido adecuadamente
if (file_exists($rutaFinal.$archivoZip)){
echo 'Proceso finalizado';
}else{
echo 'Error';
}
}

//La función siguiente es la que realmente comprime la carpeta
function agregar_zip($directorio, $zip){

//Verificiación de que la dirección es un directorio
if (is_dir($directorio)) {

//Se abre la carpeta
if ($temporal = opendir($directorio)) {

//Recorre las diferentes carpetas que tenga en su interior
```

```

while (($archivo = readdir($temporal)) != false) {

//Mientras que se encuentren nuevos directorios, se va llamando
recursivamente a la función
if (is_dir($directorio . $archivo) && $archivo!="." &&
$archivo!=".."){
echo "<strong>Creando directorio:
$directorio$archivo</strong><br/>";
agregar_zip($directorio.$archivo . "/", $zip);

//Cuando encuentre un archivo, lo comprime
}elseif(is_file($directorio.$archivo) && $archivo!="." &&
$archivo!=".."){
$zip->addFile($directorio.$archivo, $directorio.$archivo);
}
}

//Una vez terminada la compresión se cierra el directorio
closedir($temporal);
}
}
}

?>

```

El código anterior es capaz de crear el archivo .zip de los datos almacenados. Para que el usuario pueda descargarse los datos, se ha insertado en el código HTML de la interfaz web tres botones a los que se les ha asignado la clase "descarga" que contiene información visual de los botones de descarga.

```

//Datos 15 minutos
<a href="Datos15minutos.zip" class="descarga" style=" height:
50px;">Datos 15 minutos</a>
<br>

//Datos horarios
<a href="Datos1hora.zip" class="descarga" style=" height:
50px;">Datos horarios</a>
<br>

//Datos completos diarios
<a href="Datos24horas" class="descarga" style=" height: 50px;">Datos
completos</a>

```

La figura 123 muestra la implementación de los enlaces de descarga en la interfaz web.



Figura 123. Interfaz web: Descarga de datos

8.2.4 CONSEJOS

En la interfaz web se muestran el consumo económico de los últimos meses y las tarifas que más convienen económicamente según el perfil del usuario almacenado, las horas del día en las que los precios son más caros y baratos y se estudia la potencia mínima que puede contratar.

8.2.4.1 OPTIMIZACIÓN DE LA MODALIDAD DE PVPC

Existen tres modalidades de PVPC con diferentes precios en cada tramo horario. Para que el usuario pueda conocer cuál es la tarifa que mejor se ajusta a su perfil de consumo, mensualmente se han tenido en cuenta la potencia consumida cada hora y el término de energía del precio voluntario para el pequeño consumidor de las tres tarifas existentes correspondiente a cada hora para hallar el precio mensual que correspondería a cada modalidad. El siguiente código guarda los precios de las tres modalidades mensualmente en un documento .csv:

```
<?php

//Usuario y se inician las variables que alojarán los precios
mensuales
$usuario='Alejandro';
$precioPVPC1=0;
$precioPVPC2=0;
$precioPVPC3=0;

//Se obtiene cuantos días tiene el mes anterior, ya que se evalúa el
día 1 de cada mes
$dias=date('d',strtotime("-1 day"));
```

```

//Recorre todos los días del mes
for ($x=1;$x<=$dias;$x++) {

    //Adquiere los datos de potencia horaria del día $x del mes
    $fecha=date('d-m-Y',strtotime("-$x day"));
    $datos=file_get_contents('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\potencia\horarios'."$fecha".'.csv');

    //Divide los datos en filas y columnas
    $exp=explode("\n",$datos);
    $num=count($exp);
    for ($i=0;$i<$num-1;$i++) {
        $exp[$i]=explode(";", $exp[$i]);
    }

    //Adquiere los datos de los precios de PVPC para el día evaluado. El día es el mismo pero la forma de nombrar la fecha no
    $fecha2=date('Ymd',strtotime("-$x day"));
    require_once('C:\Users\\'."$usuario".'\Desktop\IP-Symcon\php excel\Classes\PHPExcel.php');
    $objetoPHPExcel=PHPExcel_IOFactory::load('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\pvpc\pvpc_'."$fecha2".'.xls');
    $objetohoja=$objetoPHPExcel->getActiveSheet()->toArray(null, true, true, true);

    //Valores del término de energía de cada una de las modalidades
    for ($i=0;$i<24;$i++) {
        $datos1[$i]=$objetohoja[6+$i]['E'];
    }
    for ($i=0;$i<24;$i++) {
        $datos2[$i]=$objetohoja[30+$i]['E'];
    }
    for ($i=0;$i<24;$i++) {
        $datos3[$i]=$objetohoja[54+$i]['E'];
    }

    //Finalmente se obtiene el precio de cada una de las modalidades sumando la multiplicación del consumo de todas las horas del mes por su precio correspondiente
    for ($j=1;$j<=24;$j++) {
        $precioPVPC1+=$(exp[$j][1]*$datos1[$j-1])/1000000;
        $precioPVPC2+=$(exp[$j][1]*$datos2[$j-1])/1000000;
        $precioPVPC3+=$(exp[$j][1]*$datos3[$j-1])/1000000;
    }
}
//Se guardan los valores obtenidos en € para cada mes
$directorio=fopen('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\pvpc\preciosreales.csv', 'a+');
$fecha3=date('m-Y',strtotime("-1 day"));
$dato=array($fecha3,$precioPVPC1,$precioPVPC2,$precioPVPC3);
fputcsv($directorio,$dato, ';');
?>

```

Los datos que han sido guardados son mostrados al usuario a través de la interfaz web, que muestra el precio del término de energía del último mes correspondiente a la modalidad configurada por el usuario y cuál es la tarifa con la que el precio sería mínimo durante ese último mes. Adicionalmente se muestra una gráfica con los precios que corresponderían a cada tarifa según el consumo del cliente de los meses disponibles, para que el usuario pueda comprobar cuál es la tarifa que más se ajusta a su perfil a lo largo del año. El siguiente código es incluido en la pestaña consejos.php para poder llevar las tareas indicadas anteriormente:

```
<?php

//Datos de configuración para obtener la tarifa contratada
$datos3=file_get_contents('C:\wamp\www\proyectoUPCT\web\configuracio
n.csv');
$exp3 =explode("\n",$datos3);
for($i=0;$i<10;$i++){
$exp3[$i]=explode(";", $exp3[$i]);
}

//Tarifa contratada
$contratadaPVPC=$exp3[1][1];

//Obtención de los precios de las diferentes modalidades
$datos1=file_get_contents('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\pvpc\preci
osreales.csv');
$exp1 =explode("\n",$datos1);
$con1=count($exp1);
for($i=0;$i<$con1;$i++){
$exp1[$i]=explode(";", $exp1[$i]);
$exp1[$i]=str_replace('"', '', $exp1[$i]);
}

//Último precio correspondiente a la modalidad contratada
if($contratadaPVPC=='PVPC1') $ultimoPVPC=$exp1[$con1-2][1];
else if($contratadaPVPC=='PVPC2') $ultimoPVPC=$exp1[$con1-2][2];
else if($contratadaPVPC=='PVPC3') $ultimoPVPC=$exp1[$con1-2][3];
else $ultimoPVPC='Sin modalidad configurada';

//Impresión correcta de la modalidad
if($contratadaPVPC=='PVPC1') $modalidadPVPC='PVPC 2.0A';
else if($contratadaPVPC=='PVPC2') $modalidadPVPC='PVPC 2.0DHA';
else if($contratadaPVPC=='PVPC3') $modalidadPVPC='PVPC 2.0DHS';
else $ultimoPVPC='Sin modalidad configurada';

//Obtención de la modalidad del último mes que tiene un menor coste
económico
if($exp1[$con1-2][1]<$exp1[$con1-2][2]&&$exp1[$con1-
2][1]<$exp1[$con1-2][3]){
$minPVPC=$exp1[$con1-2][1];
$minmodalidad='PVPC 2.0A';
}
}
```

```

else if($expl[$con1-2][2]<$expl[$con1-2][1]&&$expl[$con1-2][2]<$expl[$con1-2][3]){
$minPVPC=$expl[$con1-2][2];
$minmodalidad='PVPC 2.0DHA';
}
else if($expl[$con1-2][3]<$expl[$con1-2][1]&&$expl[$con1-2][3]<$expl[$con1-2][2]){
$minPVPC=$expl[$con1-2][3];
$minmodalidad='PVPC 2.0DHS';
}
?>

//Impresión del consejo con los precios del último mes de la tarifa
configurada y de la tarifa con precio mínimo
<h1><font color="blue"> Precio <?php echo $modalidadPVPC;?> último
mes:<?php echo $ultimoPVPC;?>€---Modalidad con precio mínimo último
mes:<?php echo $minmodalidad;?> con <?php echo $minPVPC;?>
€</font></h1>

//Gráfico con los precios de todas las tarifas
<iframe src="../preciospvpc.php" width="100%"
height="500"></iframe>

```

El resultado se muestra en la figura 124.



Figura 124. Interfaz web: Precios según modalidad de PVPC

8.2.4.2 PRECIOS PVPC ORDENADOS

Para que el usuario pueda ver de forma gráfica los precios de la modalidad de PVPC elegida ordenados según precios, se ha utilizado el mismo código que ordenaba los precios para actuar

sobre las cargas ante señales de precio (apartado 8.1). Los 4 datos de horas más caras se han presentado en rojo, las 14 horas con precios intermedios en naranja y las 6 horas con precios menores en verde. Se informa al usuario que estas últimas horas son las más adecuadas para la utilización de electrodomésticos como lavadoras, lavavajillas y secadoras.

La figura 125 muestra la implementación de este consejo en la interfaz web.



Figura 125. Interfaz web: Precios PVPC ordenados

8.2.4.3 POTENCIA MÍNIMA CONTRATADA

El término de potencia tiene un gran peso económico en la factura eléctrica, por lo que se ha evaluado si es posible bajar la potencia contratada por el usuario. Para ello, se analizan mensualmente los datos guardados de 15 minutos y se guarda cuál es la potencia mínima que se debe de contratar para que el ICP (Interruptor de Control de Potencia) no detecte una potencia superior a la contratada.

El siguiente script guarda mensualmente la potencia mínima:

```
<?php
//Identificador de carpeta donde se alojan las variables de
configuración
$carpeta=47815 /*[pruebas\Variables configuración]*/;

//Se obtiene cuantos días tiene el mes
$días=date('d',strtotime("-1 day"));

//$potmin alojará la potencia mínima a contratar
$potmin=0;
```



```

//Valores de potencia disponibles para monofásico y trifásico
$potencial=array(1150,1725,2300,3450,4600,5750,6900,8050,9200);
$potencia3=array(1039,2078,2425,3464,5196,6928);

//Evalúa si la potencia contratada es monofásica o trifásica
$contratada=GetValue(@IPS_GetVariableIDByName ("Potencia
Monofásica",$carpeta));
if($contratada!='-')$monofasico=true;
else $monofasico=false;

//Recorre todos los días del mes
for($i=1;$i<=$dias;$i++){

//Adquiere los datos del día $i del mes
    $fecha=date('d-m-Y',strtotime("-$i day"));
    $datos=file_get_contents('datos/15minutos/'.$fecha.'.csv');

//Divide los datos en filas y columnas
    $exp=explode("\n",$datos);
    $num=count($exp);
    for($i=0;$i<$num-1;$i++){
        $exp[$i]=explode(";", $exp[$i]);
    }

//Potencia contratada monofásica
    if($monofasico==true){

//Número de valores de potencia monofásica
disponibles
        $numpot=count($potencial);

//Recorre los valores y comprueba si la potencia para
el dato cuartohorario es mayor que la potencia mínima. Si lo es coge
el siguiente dato menor posible
        for($j=0;$j<=96;$j++){
            for($k=0;$k<$numpot;$k++){

if($spotmin<$exp[$j+1][1]&&$potencial[$k]>$exp[$j+1][1]){
                $spotmin=$potencial[$k];
                break;
            }
        }
    }
}else{

//Potencia contratada trifásica
        $numpot=count($potencia3);
        for($j=0;$j<=96;$j++){
            for($k=0;$k<$numpot;$k++){

if($spotmin<$exp[$j+1][1]&&$potencia3[$k]>$exp[$j+1][1]){
                $spotmin=$potencia3[$k];
                break;
            }
        }
    }
}
}

```

```

    }
    }
    }
}

//Guarda el valor de la potencia mínima que se puede contratar
$directorio=fopen('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\potencia\potenciaminima.csv','a+');
$fecha2=date('m-Y',strtotime("-1 day"));
$dato=array($fecha2,$potmin);
fputcsv($directorio,$dato,',' );

?>

```

Para la muestra de la potencia mínima a contratar en los últimos meses, se incluye en la pestaña consejos el siguiente código:

```

<?php

//Datos de la potencia mínima mensual
$datos2=file_get_contents('C:\wamp\www\proyectoUPCT\Datos\potencia\potenciaminima.csv');
$exp2 =explode("\n",$datos2);
$con=count($exp2);
for($i=0;$i<$con-1;$i++){
$exp2[$i]=explode(";", $exp2[$i]);
$exp2[$i]=str_replace('"','',$exp2[$i]);
}

//Datos de configuración para obtener la potencia contratada
$datos3=file_get_contents('C:\wamp\www\proyectoUPCT\web\configuracion.csv');
$exp3 =explode("\n",$datos3);
for($i=0;$i<10;$i++){
$exp3[$i]=explode(";", $exp3[$i]);
}
if($exp3[4][1]!='-')$contratada=$exp3[4][1];else$contratada=$exp3[5][1];
?>

//Visualización de la potencia actual contratada y la del último mes
<h1><font color="blue"> Potencia actual contratada:<?php echo $contratada;?>---Potencia mínima a contratar último mes:<?php echo $exp2[$con-2][1]/1000;?> kW</font></h1>

//Gráfica de las potencias mínimas de los últimos meses
<iframe src="../potenciaminima.php" width="100%" height="500"></iframe>

```

El resultado se muestra en la figura 126.

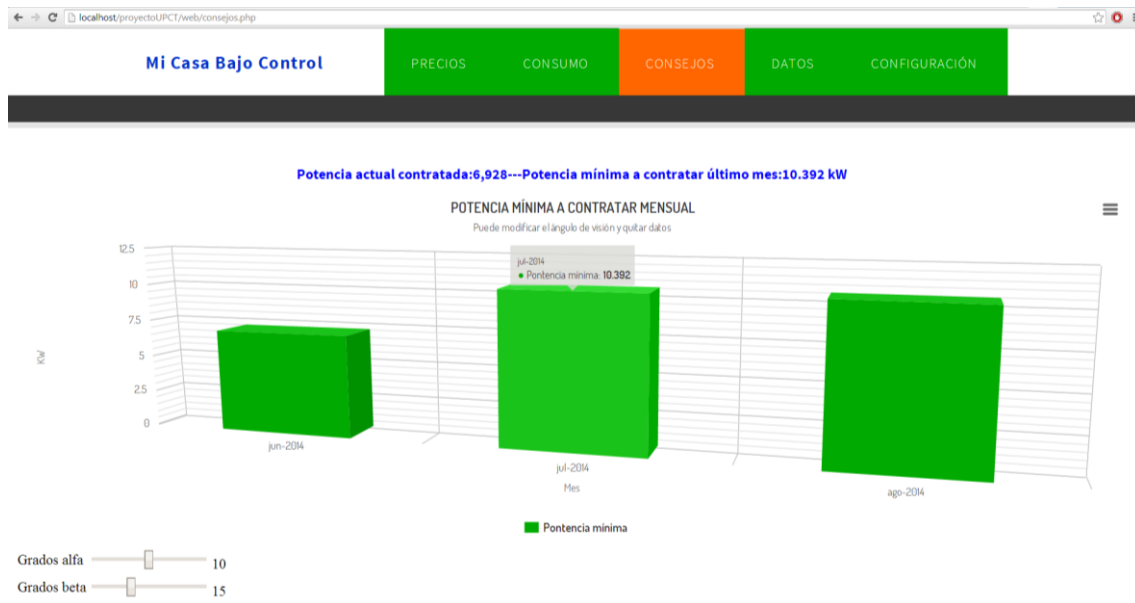


Figura 126. Interfaz web: Potencia mínima a contratar

8.2.5 COMUNICACIÓN DE LA INTERFAZ WEB

La interfaz web está alojada en el PC central de comunicación (Capítulo 3), pero el usuario debe de ser capaz de visualizar los datos de salida del sistema de control energético en otros dispositivos. Para ello, se necesita en primer lugar de un servidor web que gestione las peticiones del usuario. Este servidor web estará alojado en el propio PC y se ha elegido como programa informático el servidor gratuito de código abierto Apache [91], que utiliza el protocolo HTTP para mostrar las páginas web en la red.

La interfaz web está compuesta por páginas escritas en el lenguaje PHP y HTML. Apache es capaz de interpretar el código escrito en HTML, pero para la interpretación del lenguaje PHP necesita de la instalación de las librerías disponibles en [92].

En primer lugar se ha creado una red local para que el usuario sea capaz de establecer la comunicación con el servidor dentro de la propia vivienda. Para ello, se ha utilizado el protocolo de comunicación inalámbrico IEE 802.11 (Wi-Fi). La comunicación entre el dispositivo del usuario (ordenador, tablet, smartphone, etc.) es gestionada por el router, que permite la comunicación a nivel de red del modelo OSI (figura 127).

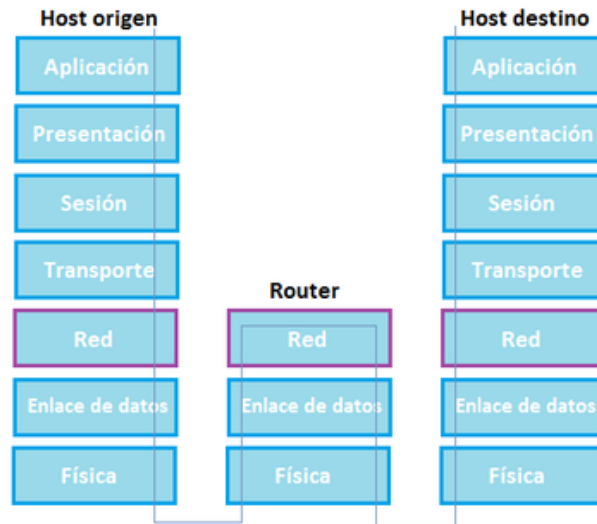


Figura 127. Comunicación de usuario con PC según modelo OSI

La conexión al servidor web en una red local se realiza indicando la IP privada del PC en el que está alojado. La IP es asignada a cada dispositivo de Internet por el router. El problema radica cuando existen varios dispositivos que están conectados al mismo router y este se está encendiendo y apagando, pues asignará en cada momento una IP distinta a cada dispositivo. Las IP son asignadas según se vayan conectando los dispositivos en forma ascendente. La figura 128 muestra la configuración del router utilizado (con IP 192.168.1.1), en la que se aprecia que asigna las IP's desde un valor de 192.168.1.33 hasta 192.168.1.222.

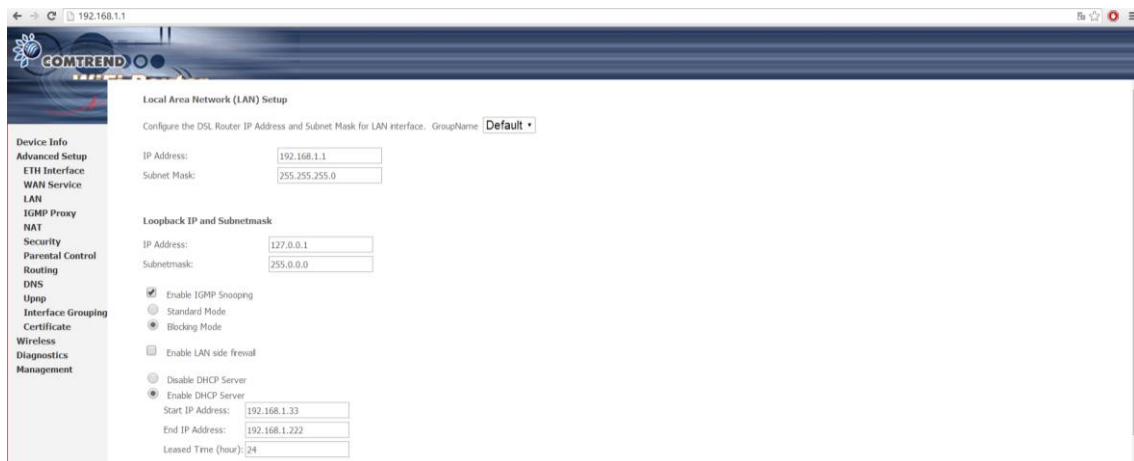


Figura 128. Router: Configuración de las IP's asignadas

Para asegurar que el PC que aloja el servidor web posea siempre la misma IP, se ha configurado desde el propio PC que siempre pida la IP 192.168.1.222, que es la última IP que asignaría el router y por tanto estará libre (debería de haber 188 dispositivos conectados al router para que no lo estuviera). La figura 129 muestra esta configuración.

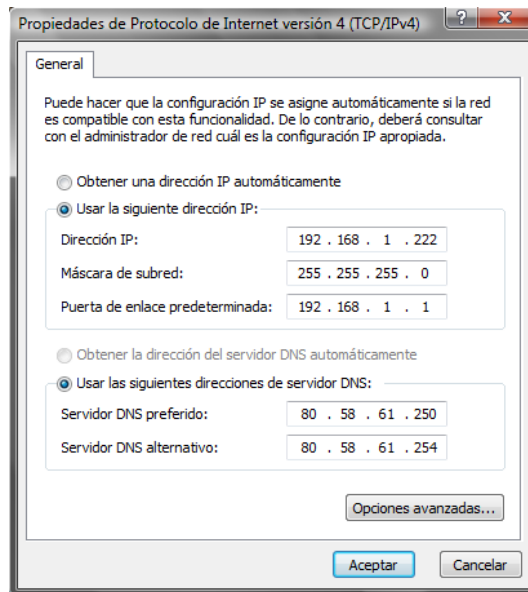


Figura 129. Asignación de IP fija

Hasta ahora, se ha explicado cómo el usuario podría conectarse dentro de la misma red local. Sin embargo, el usuario podría no encontrarse en su vivienda y debería de ser capaz de visualizar la potencia que está consumiendo en ese momento, las previsiones de precios, etc.

Para que el envío de paquetes entre las dos redes diferentes (máquinas IP del usuario y servidor web) se produzca de manera adecuada, se ha configurado el router para que desvíe las peticiones que le llegan del exterior (Internet) a través del puerto 80 con el protocolo TCP al ordenador que aloja el servidor web (IP 192.168.1.222). La figura 130 muestra la configuración del router para desviar las peticiones.

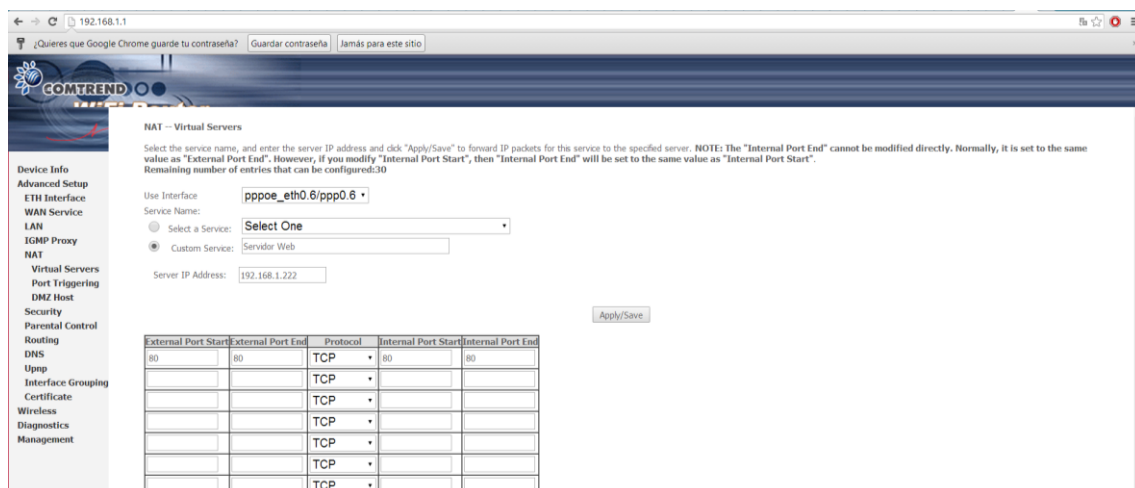


Figura 130. Router: Asignación de puertos

Finalmente, se debe de tener en cuenta que la IP pública a la que se conectará el usuario desde fuera de la red local y que corresponde al router es normalmente dinámica. Para solucionar este problema, se ha utilizado el servicio de DNS (Domain Name System) dinámica No-IP [93].

No-IP comprueba cada 5 minutos la IP pública del router y asigna este número a un nombre. El nombre del dominio utilizado para el proyecto ha sido micasabajocontrol.no-ip.biz, que permite acceder al PC donde se aloja el servidor web Apache. La figura 131 muestra la implementación del programa No-IP en el PC.

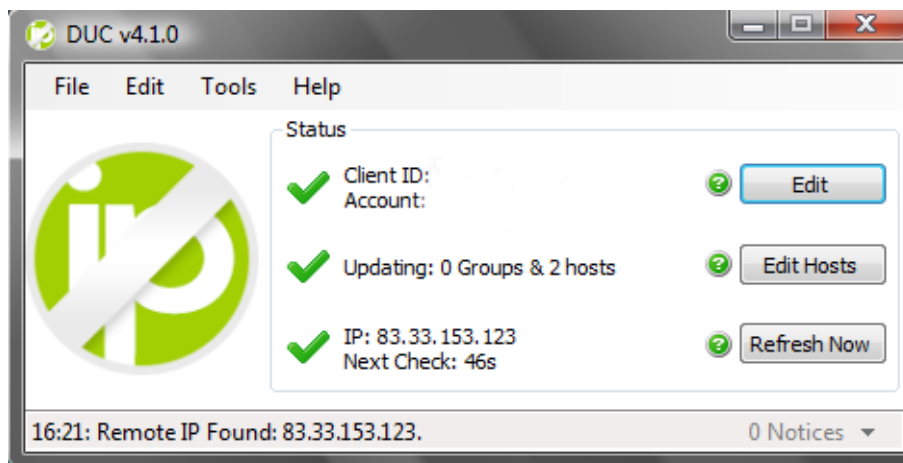


Figura 131. Programa No-IP

CAPÍTULO 9:

AMPLIACIONES, ANÁLISIS DE DATOS, CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

9.1 AMPLIACIONES

Las entradas y salidas del sistema de control energético descritas en los capítulos 8 y 9, son capaces de gestionar la automatización de las cargas en la vivienda por sí mismas. Sin embargo, debido a la gran complejidad con un número tan alto de variables que afectan al consumo eléctrico en el hogar, resulta necesario la implementación de modelos matemáticos que sean capaces de predecir el consumo y realizar simulaciones intentando individualizar cada hogar.

Un modelo interesante para este fin es un modelo térmico que simule en función de la climatización del usuario, las características térmicas de su vivienda y la climatología (temperatura exterior y radiación solar) como entradas principales, la evolución de temperatura en el interior de la vivienda. Este modelo permitiría estudiar la potencia necesaria durante el día y simular diferentes tipos de cortes de la climatización en función de las señales de los programas de respuesta de la demanda, pudiendo optimizar económicamente la mejor solución en función de las necesidades de cada usuario.

Se ha implementado en el sistema de control energético una salida que indica al usuario para cada día en función de los precios del término de energía, el ahorro que obtendría en la factura eléctrica si se produjera el control del aparato de climatización durante diferentes intervalos de tiempo. El usuario decidirá en función del ahorro que obtendría y de la variación de la temperatura que se produciría con los diferentes cortes, cuál es la respuesta que más le interesa.

El siguiente código es capaz de obtener la hora en la que se produce el mayor consumo económico teniendo como entradas el término de energía y la potencia demandada por el sistema de climatización. En función de la modalidad del usuario, se pasa la hora al modelo térmico para que simule diferentes cortes de duración múltiplo de 20 en este ejemplo para poder mostrar al usuario qué ahorro obtendría en cada caso y cuál sería el aumento de temperatura. La figura 132 muestra un flujograma del código.

```
<?php
//Inicialización de variables y usuario
$usuario='Alejandro';
```



```

$j=0;
for (; $i<$con; $i++) {
if ($expactual[$i]!='') {
$temperatura[$j]=$expactual[$i];
$j++;
if ($j>1439) break;
}
}

//Se obtienen las medias horarias de potencia
$x=0;
$vuelta=0;
$horarios=array(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0);
for ($k=0; $k<1440; $k++) {
$horarios[$x]+=($datos[$k])/60;
$vuelta++;
if ($vuelta>=60) {
$vuelta=0;
$x++;
}
}

//Calcula para cada una de las modalidades de PVPC el precio para la
demanda energética del modelo sin control por horas y total.
for ($j=0; $j<=23; $j++) {
$precioPVPC1hora[$j]=($horarios[$j]*$datos1[$j])/1000000;
$precioPVPC2hora[$j]=($horarios[$j]*$datos2[$j])/1000000;
$precioPVPC3hora[$j]=($horarios[$j]*$datos3[$j])/1000000;
$precioPVPC1sincontrol+=$(horarios[$j]*$datos1[$j])/1000000;
$precioPVPC2sincontrol+=$(horarios[$j]*$datos2[$j])/1000000;
$precioPVPC3sincontrol+=$(horarios[$j]*$datos3[$j])/1000000;
}

//Ordena los precios y guarda los horas en un array
arsort ($precioPVPC1hora);
arsort ($precioPVPC2hora);
arsort ($precioPVPC3hora);

//Obtiene la configuración del usuario
$datosPVPC=file_get_contents('C:\wamp\www\proyectoUPCT\web\configura
cion.csv');
$expPVPC =explode("\n", $datosPVPC);
for ($i=0; $i<10; $i++) {
$expPVPC[$i]=explode(";", $expPVPC[$i]);
}
$PVPC=$exp[1][1];

//Obtiene la hora de mayor precio
if ($PVPC=='PVPC1') $hora=array_keys ($precioPVPC1hora);
else if ($PVPC=='PVPC2') $hora=array_keys ($precioPVPC2hora);
else if ($PVPC=='PVPC3') $hora=array_keys ($precioPVPC3hora);

```

```

//En este punto, se pasaría la hora de mayor precio al modelo
término, que en este ejemplo simularía diferentes cortes múltiples
de 20 minutos para la hora especificada
for($duracion=20;$duracion<=120;$duracion+=20){

//Se obtienen los datos de potencia y temperatura de cada uno de los
cortes
$datosactual=file_get_contents('C:\Users\\'."$usuario".'\Desktop\\'."
"$duracion".'.txt');
$expactual =explode(' ', $datosactual);
$con=count($expactual);
$j=0;
for($i=0;$i<$con;$i++){
if($expactual[$i]!=''){
$datos[$j]=$expactual[$i];
$j++;
if($j>1439)break;
}
}
$j=0;
for(; $i<$con;$i++){
if($expactual[$i]!=''){
$temperatura[$j]=$expactual[$i];
$j++;
if($j>1439)break;
}
}

//Se obtienen las medias horarias de potencia
$x=0;
$vuelta=0;
$horarios=array(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0);
for($k=0;$k<1440;$k++){
$horarios[$x]+=$datos[$k]/60;
$vuelta++;
if($vuelta>=60){
$vuelta=0;
$x++;
}
}

//Se obtiene el precio total del día para cada uno de los cortes
for($j=0;$j<=23;$j++){
$precioPVPC1+=$horarios[$j]*$datos1[$j]/1000000;
$precioPVPC2+=$horarios[$j]*$datos2[$j]/1000000;
$precioPVPC3+=$horarios[$j]*$datos3[$j]/1000000;
}

//Imprime el precio por pantalla
if($PVPC=='PVPC1')echo$precioPVPC1;
else if($PVPC=='PVPC2')echo$precioPVPC2;
else if($PVPC=='PVPC3')echo$precioPVPC3;
echo"\n";

```

```
//Obtiene el ahorro del corte respecto al modelo sin corte
if ($PVPC=='PVPC1') $ahorro=$precioPVPC1sincontrol-$precioPVPC1;
else if ($PVPC=='PVPC2') $ahorro=$precioPVPC2sincontrol-$precioPVPC2;
else if ($PVPC=='PVPC3') $ahorro=$precioPVPC3sincontrol-$precioPVPC3;
echo $ahorro;

//Inicialización de variables a 0 para el siguiente modelo de corte
$precioPVPC1=0;
$precioPVPC2=0;
$precioPVPC3=0;

//Obtiene el aumento de temperatura que se produciría durante el
corte
$aumentotemperatura=$temperatura[$hora[0]*60+$duracion]-
$temperatura[$hora[0]*60];
echo "\n";
echo $aumentotemperatura;
}
?>
```

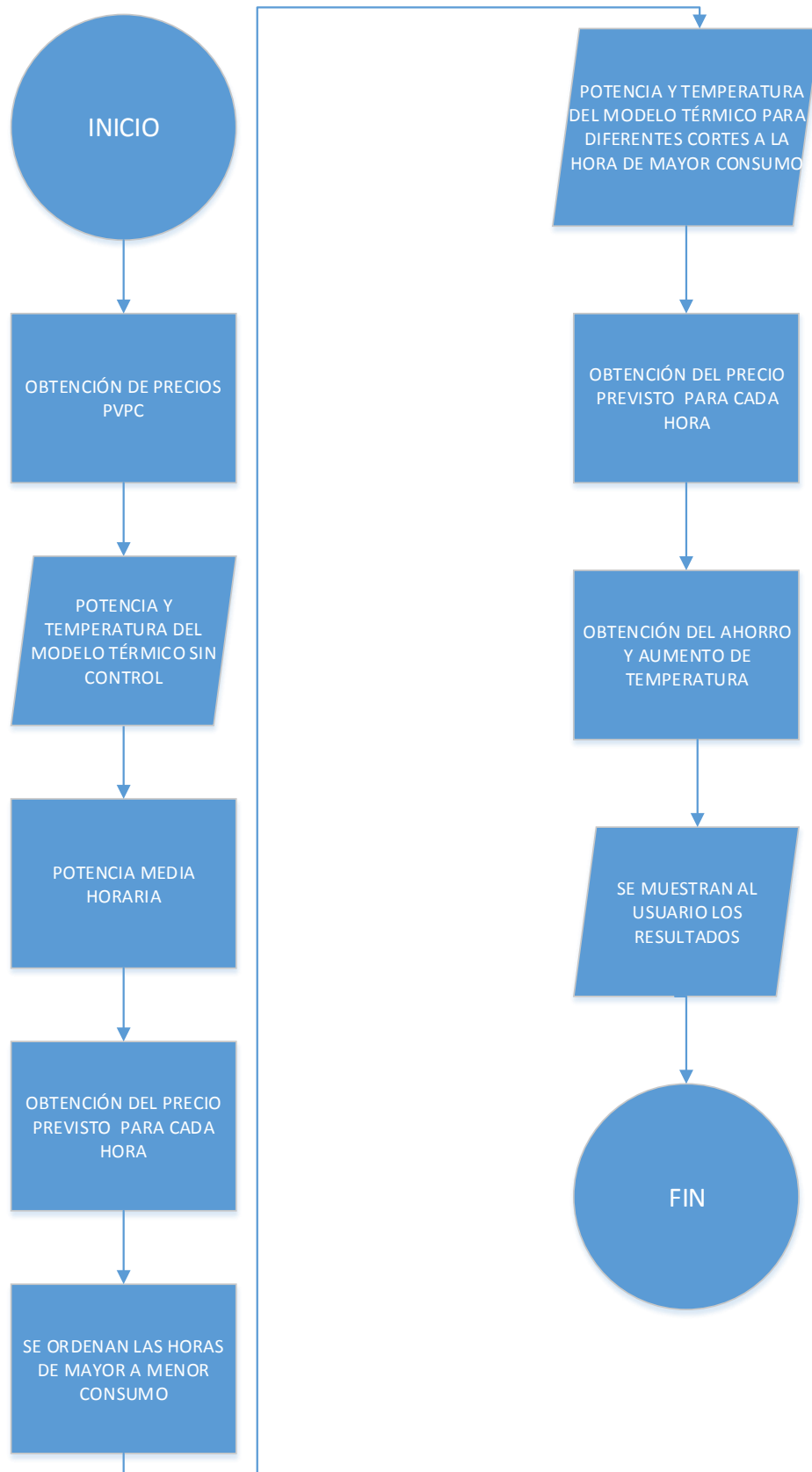


Figura 132. Flujograma de la implementación del modelo térmico

Se han realizado simulaciones del modelo térmico para un recinto de 25 m² en verano, con una temperatura exterior variable según la figura 133 y expuesto a una radiación solar por superficie acristalada de 5 m² (figura 134). La potencia térmica del aparato de aire acondicionado simulada es de 1800W.

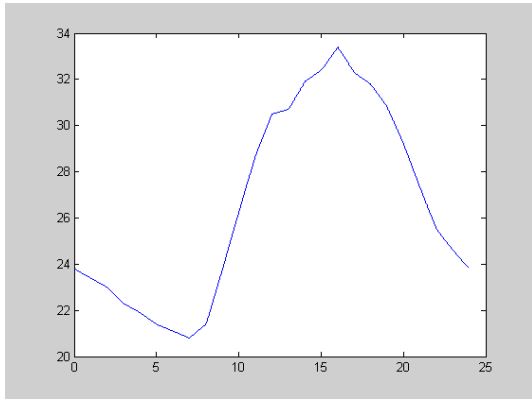


Figura 133. Variación de la temperatura exterior

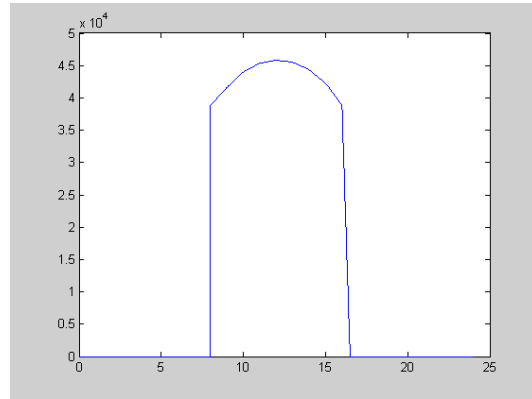


Figura 134. Radiación solar por superficie acristalada

El programa obtiene los ciclos de encendido/apagado del compresor y las temperaturas del recinto (X =interna, X_w =paredes externas, X_s =paredes internas). Se han distinguido dos tipos de estrategias de control para una hora dada. La primera consiste en la limitación de los ciclos de encendido y apagado a un porcentaje, mientras que la segunda estrategia consiste en el apagado constante del aparato durante la duración del evento de control. La figura 135 muestra la simulación de temperatura para un control de los ciclos de encendido/apagado del 40% durante las horas de control de 14 a 16.

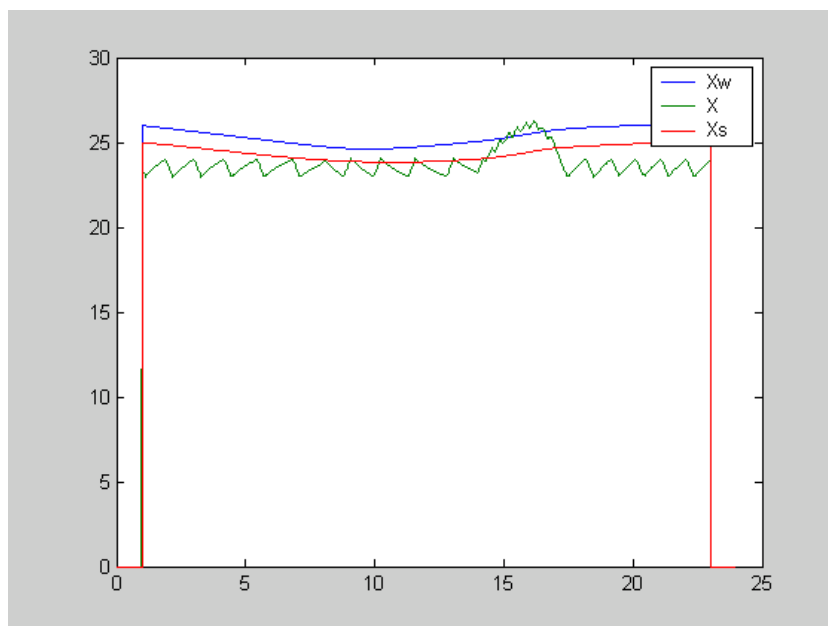


Figura 135. Simulación de la variación de temperatura

9.2 ANÁLISIS DE DATOS

Se han estudiado los datos históricos de potencia de una vivienda correspondientes a los meses de julio y agosto. Con estos datos, se han analizado las diferentes modalidades de precio, el error en la previsión, un caso real de aplicación del modelo térmico y el efecto de desconectar la carga de aire acondicionado señales de control.

9.2.1 MODALIDADES DE PRECIO

Se han utilizado los datos almacenados horarios y el término de energía horario de cada uno de los días para calcular el precio final de los meses de julio y agosto para las tres modalidades de PVPC existentes. La tabla 4 muestra el resultado:

	Julio (€)	Agosto (€)	Total (€)
PVPC 2.0A	186,28	211,42	397,7
PVPC 2.0DHA	160,57	183,08	343,65
PVPC 2.0DHS	161,75	184,31	346,06

Tabla 4. Términos de facturación de energía activa reales

Se ha calculado además, el precio que se hubiera obtenido para viviendas que no dispusieran de contadores con telemedida, aplicando los coeficientes perfilados publicados por REE y el precio que se hubiera obtenido con el precio fijo del BOE a 1 de febrero de 2014 (tabla 5).

	Julio (€)	Agosto (€)	Total (€)
PVPC 2.0A con coeficientes	185,88	211,45	397,32
PVPC 2.0DHA con coeficientes	159,46	182,92	342,38
PVPC 2.0DHS con coeficientes	161,37	184,53	345,90
PVPC 2.0A BOE 1 febrero 2014	197,88	217,12	415,00
PVPC 2.0DHA BOE 1 febrero 2014	166,90	183,50	350,40
PVPC 2.0DHS BOE 1 febrero 2014	172,50	188,98	361,48

Tabla 5. Comparación de términos de facturación de energía activa

9.2.2 CONTROL DEL AIRE ACONDICIONADO

Se ha realizado una prueba experimental de parada del aparato de aire acondicionado durante una hora para observar cuánta es la energía eléctrica que necesita para extraer la energía térmica que ha ganado la vivienda durante la parada del aire acondicionado de una hora.

Se han realizado dos experimentos dos días a la misma hora y con temperatura exterior similar. En la primera prueba (figura 136) se ha estudiado el consumo de potencia de aire acondicionado en estado estacionario para mantener la temperatura de la vivienda en 25 °C durante dos horas.

Se ha adimensionalizado la potencia instantánea para distinguir únicamente entre apagado y encendido.



Figura 136. Demanda de potencia del aire acondicionado sin control

En el segundo experimento (figura 137), se ha desconectado el aire acondicionado durante una hora. En ambos experimentos, el minuto 0 corresponde al momento de desconexión del aire acondicionado tras haber alcanzado el estado estacionario.

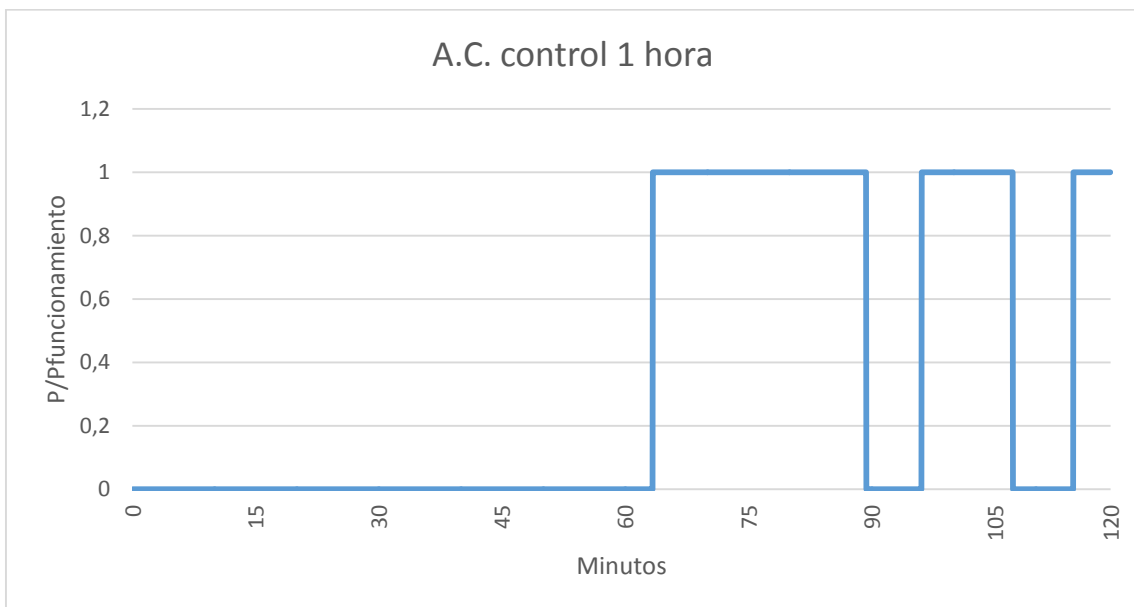


Figura 137. Demanda de potencia del aire acondicionado con desconexión de una hora

Los resultados se muestran en la tabla 6.

Minutos encendido	
Sin control/hora	37
Con control/2ª hora	54
Sin control/onda	15,5
Con control/1ª onda	34,5

Tabla 6. Resultados del control de la carga de aire acondicionado

Se puede concluir atendiendo a los resultados que el aire acondicionado permanece encendido de media un 47% de las dos horas cuando no está controlado, mientras que cuando recibe una señal de control, permanece encendido un 35% de las dos horas, lo que es un 70% del tiempo en la hora posterior a su desconexión. En resumen, la potencia consumida durante las dos horas ante una señal de control es un 34% inferior a la que se consumiría sin la desconexión del aparato.

Con estos datos, se han utilizado los datos horarios de potencia y los términos de energía correspondientes durante los días de los meses de julio y agosto para obtener cuál sería el ahorro de la implementación de este sistema la hora al día de mayor consumo en los días en los que realmente ha estado conectado el aparato de aire acondicionado durante esa hora. La tabla 7 muestra la comparación del precio mensual del consumo real y del consumo que se produciría aplicando el control para la modalidad de PVPC 2.0A.

	Julio	Agosto	Total
PVPC 2.0A sin control (€)	186,28	211,42	397,7
PVPC 2.0A con control (€)	175,54	201,12	376,66
Ahorro (€)	10,74	10,3	21,04
Ahorro (%)	5,76	4,87	5,29

Tabla 7. Ahorro aplicando el control del aire acondicionado

Los resultados muestran que aplicando el control del aparato de aire acondicionado durante los meses de julio y agosto una hora al día en los días que estuviera encendido en la vivienda estudiada, se obtendría un ahorro del 5,29% del total de la factura.

9.2.3 ESTUDIO DE LOS RESULTADOS DEL MODELO TÉRMICO CON PRECIOS REALES

Se han analizado los datos de salida del modelo térmico del apartado 9.1 para diferentes duraciones de corte y se ha calculado el consumo económico teniendo en cuenta el término de energía del día 26 de septiembre de 2014. La tabla 8 muestra el consumo total, ahorro respecto al evento sin corte y aumento de temperatura que se produciría para diferentes duraciones de corte.

Duración (min)	0	20	40	60	80	100	120
Precio diario (€)	2,44	2,43	2,38	2,35	2,33	2,32	2,28
Ahorro (€)	0	0,01	0,06	0,09	0,11	0,12	0,16
Ahorro (%)	0,00	0,41	2,46	3,69	4,51	4,92	6,56
Aumento temperatura (°C)	0	1,34	2,46	3,38	4,15	4,79	5,31

Tabla 8. Aplicación del modelo térmico al día 26-09-2014

Los resultados muestran que el ahorro que se produciría con diferentes cortes comprendidos entre 20 y 120 minutos, oscilaría entre el 1,34 y el 5,31 %, mientras que el aumento de temperatura tendría un rango entre 1,34 °C y 5,31 °C.

9.2.4 ERRORES DE PREVISIÓN

Se han analizado los datos almacenados durante los meses de julio y agosto para obtener el error que se produciría para las previsiones de potencia diarias cogiendo el dato almacenado de potencia del día anterior y de la semana anterior y en el caso de la previsión de potencia horaria la hora anterior, la misma hora del día anterior y la misma hora de la semana anterior (tabla 9).

El error medio absoluto se ha calculado de la siguiente forma:

$$ERROR = \left| \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{i=n} \frac{Valor_{real} - Valor_{previsto}}{Valor_{real}} \right|$$

	Media del error absoluto (%)
Previsión diaria día anterior	15,59
Previsión diaria semana anterior	18,86
Previsión horaria hora anterior	51,17
Previsión horaria hora día anterior	115,37
Previsión horaria hora semana anterior	114,61

Tabla 9. Errores absolutos de previsión

Como se puede observar, las mejores previsiones corresponden al dato más próximo temporalmente (día anterior para previsiones diarias y hora anterior para previsiones horarias). Además, el error es menor cuanto más agrupados estén los datos (menor error en previsiones diarias que horarias).

Estudios como los llevados a cabo por la universidad de Munich [94] muestran que el método simple de previsión basado en el último dato disponible (Persist) es el método más sencillo y más difícil de batir, presentando mejores predicciones que el resto de métodos matemáticos, tal y como se puede observar en la figura 138.

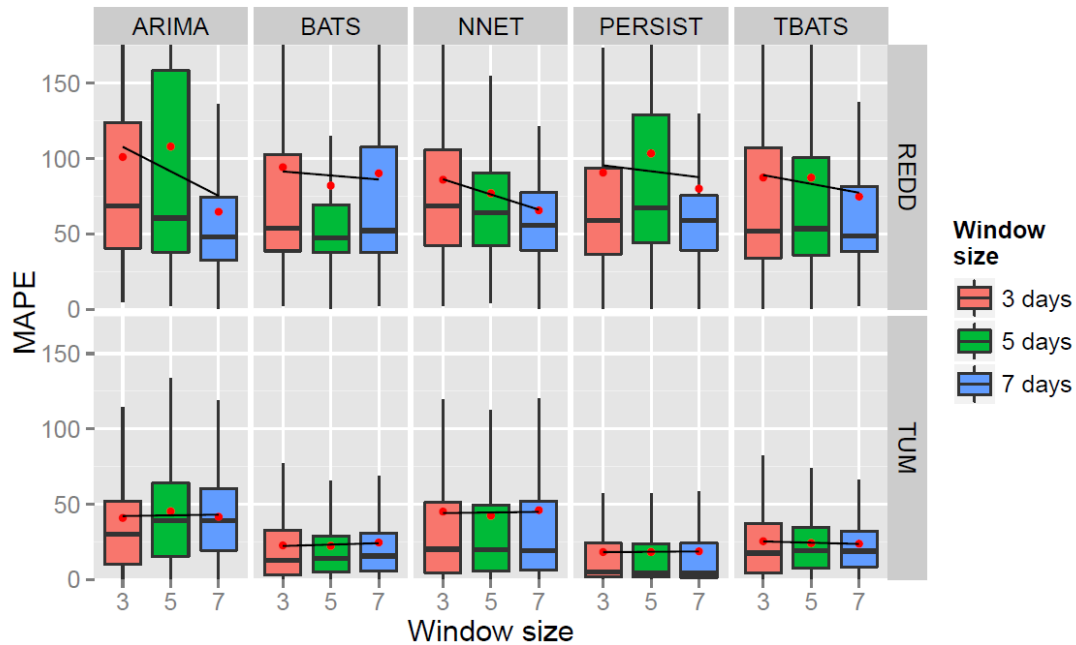


Figura 138. Comparativa de métodos de previsión de potencia. Fuente [94]

Se ha tratado de mejorar el error absoluto de la previsión simple diaria introduciendo datos de temperatura diaria. Los mejores resultados se han obtenido con la condición de coger el dato diario anterior si la diferencia de temperatura era menor o igual a 3°C y el dato diario de la semana anterior en caso contrario. Aplicando esta condición se ha conseguido descender el error absoluto medio desde 15,59% al 15,29% para los datos almacenados durante los meses de julio y agosto.

9.3 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado la importancia de la implementación de programas de respuesta de la demanda en el sistema eléctrico, centrándose especialmente en el sector residencial. Se han estudiado diferentes alternativas para implementar de forma completa un sistema de control energético que permita la automatización de las cargas eléctricas con el objetivo de proponer soluciones y facilitar la inclusión de este sector en la gestión de la demanda.

El sistema de control energético se ha instalado en un PC, que ha sido el nodo central en la red de comunicaciones residencial, albergando el software que hace posible el control automático de las cargas eléctricas. Se han propuesto además diferentes soluciones para poder recibir los datos de demanda de potencia en tiempo real, distinguiéndose entre ellos la utilización de una placa Arduino alimentada con baterías que es capaz de transmitir la energía consumida medida por un contador inteligente a través de las señales luminosas de LEDs presentes en estos. Se han estudiado diferentes protocolos de comunicación, distinguiéndose por su facilidad de instalación, amplia extensión y bajo consumo los protocolos inalámbricos ZigBee y Z-Wave para el control domótico.

El sistema de control recibe como entradas las señales de control de precios dinámicos y eventos, datos climatológicos, potencia demandada en tiempo real y en función de la configuración del usuario, es capaz de actuar automáticamente sobre las cargas eléctricas y de mostrar al usuario recomendaciones. La comunicación entre el sistema de control y el usuario se ha realizado a través de una interfaz web programada en PHP y HTML y utilizando Wi-Fi como sistema de comunicación, debido a su elevada penetración en los hogares y por ser adecuado para transmitir grandes cantidades de información.

El sistema de control automático propuesto permite actuar sobre 4 cargas térmicas: aire acondicionado/bomba de calor, radiadores eléctricos, termo para agua caliente sanitaria y frigorífico. Se ha estimado que el control del aire acondicionado en la vivienda objeto de estudio durante los meses de julio y agosto durante una hora diaria supondría un ahorro en la factura total superior al 5%. Además, la inclusión de un modelo térmico en el sistema de control energético permite que el usuario decida la duración del evento en función del ahorro y la variación de temperatura que estaría dispuesto a soportar. Finalmente se ha estudiado el error absoluto de previsión de la demanda diaria, obteniéndose unos resultados mediante un método sencillo como es coger la potencia del día anterior del 15,6%.

9.4 LÍNEAS FUTURAS

La ampliación del sistema de control energético mediante la integración completa de diferentes modelos que puedan ser configurados por el usuario a través de la interfaz web de manera sencilla para poder ser individualizadas a cada vivienda es uno de los principales retos para la implementación masiva en el sector residencial del control automático de cargas eléctricas. Así, características como la orientación, superficie habitable y superficie acristalada que puedan ser configuradas por el usuario supondrían la predicción de la demanda térmica con un menor error, favoreciendo respuestas más eficientes.

Mientras que en la previsión de usuarios agregados los modelos matemáticos se han impuesto sobre el método persistente, en el caso de previsiones de demanda para usuarios individuales, el método persistente es capaz de mejorar la previsión del resto de métodos. Por tanto, investigaciones destinadas a desarrollar modelos matemáticos que sean capaces de predecir la demanda de forma individual con mayor precisión son necesarias para mejorar la eficacia del sistema de control energético. En este punto, la implementación de métodos basados en inteligencia artificial como redes neuronales, con un error absoluto que puede descender del 3% [95], aplicado individualmente a cada vivienda integrando como datos de entrada sensores lumínicos, de temperatura y presencia, podrían ser buenos métodos que reducirían el error de variabilidad gracias a la presencia de sensores.

La implementación de programas de respuesta de la demanda directamente desconectando las cargas influye directamente en el confort de los usuarios. Por ello, el estudio de la instalación de sistemas que sean capaces de suministrar la energía necesaria durante los periodos de corte producidos por señales de programas de respuesta de la demanda desde el punto de vista económico frente al confort sería necesario para la aplicación satisfactoria de estos programas en el sector residencial. En este punto, la introducción de sistemas que almacenen la energía eléctrica en forma de energía térmica como placas cerámicas, depósitos de hielo o la ampliación de la capacidad de termos de agua caliente sanitaria serían herramientas útiles.

Finalmente, se presenta la necesidad de la expansión y adaptación del sistema de control energético desarrollado en este trabajo a otro tipo de usuarios como son pequeñas industrias y comercios, que en muchos casos tienen cargas eléctricas similares a los usuarios residenciales como son los aparatos de climatización y máquinas frigoríficas (que responderían y se gestionarían de forma similar ante señales de los programas de respuesta de la demanda), y que presentan barreras a la introducción de la gestión de la demanda muy similares al usuario residencial: conocimiento de las tarifas eléctricas y de su consumo eléctrico, capacidad

tecnológica de los usuarios o acceso a productos del mercado eléctrico. Las dos primeras se pueden superar con ayudas tecnológicas como las que se proponen en este trabajo y la segunda, en buena parte, con desarrollos futuros como los que se proponen en este apartado final de la memoria.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ESPAÑA. MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN. PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (PTE-EE). “Documento de visión de la Eficiencia Energética en España”. Junio 2009. Disponible en: http://www.energylab.es/fotos/090930102106_qV9M.pdf
- [2] JAVIER, E. E. (Dir.), et al. “Prospectiva del Sector Eléctrico 2013-2027” Secretaría de Energía. México, 2013. Disponible en: http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Prospectiva_del_Sector_Electrico_2013-2027.pdf
- [3] JOHN, J. CONTI (Dir.), et al. “Annual Energy Outlook 2014 with projections to 2040”. U.S. Energy Information Administration, Independent Statistics and Analysis. United States of America (Washington), Abril 2014. Disponible en: [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2014\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2014).pdf)
- [4] ASOCIACIÓN EMPRESARIAL EÓLICA [Web], <<http://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/la-eolica-en-espana/potencia-instalada/>>
- [5] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, “El Sistema Eléctrico Español”, 2013. Disponible en: http://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/inf_sis_elec_ree_2013_v1.pdf
- [6] CALIFORNIA ISO, “California ISO Demand Response and Energy Efficiency Roadmap: Maximizing Preferred Resources”, United States of America (California), Diciembre 2013. Disponible en: <http://www.caiso.com/documents/dr-eeroadmap.pdf>
- [7] CALIFORNIA ISO, “Integration of Renewable Resources”, United States of America (California), Agosto 2010. Disponible en: <http://www.caiso.com/documents/integration-renewableresources-operationalrequirementsandgenerationfleetcapabilityat20percrrps.pdf>
- [8] SMART GRIDS EUROPEAN TECHNOLOGY PLATFORM [Web], <<http://www.smartgrids.eu/>>
- [9] AGGARWAL, Sonia; GU, Jeffrey. “Demand-response cost range data for 2012 from: Pacific Gas & Electric, Southern California Edison, and PJM”. United States of America (California), 2012. Disponible en: <http://energyinnovation.org/wp-content/uploads/2013/05/Two-Kinds-of-Demand-Response.pdf>

- [10] ALCARÁZ ORTEGA, Manuel; ÁLVAREZ BEL, Carlos (Ph.D.); DOMIJAN, Alexander (Ph.D.), “*Evaluation and Assessment of New Demand Response Products Based on the Use of Flexibility in Industrial Processes: Application to the Food Industry*”, United States of America (Florida), España (Valencia), Febrero de 2011. Disponible en: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10078/tesisUPV3478.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [11] ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE/SWEEP, “*Demand Response: An Introduction – Overview of Programs, Technologies, & Lessons Learned*” [S.L.], 2006. Disponible en: <https://www.sgiclearinghouse.org/LessonsLearned?q=node/2440&lb=1>
- [12] SMART ENERGY DEMAND COALITION, “*Mapping Demand Response in Europe Today*”. Bruselas, Abril 2014. Disponible en: http://sedc-coalition.eu/wp-content/uploads/2014/04/SEDC-Mapping_DR_In_Europe-2014-04111.pdf
- [13] WOOLF, Tim; MALONE, Erin, et al. “*A Framework for Evaluating the Cost-Effectiveness of Demand Response: Prepared for the National Forum on the National Action Plan on Demand Response: Cost-effectiveness Working Group*”. United States of America, Febrero 2013. Disponible en: <http://emp.lbl.gov/sites/all/files/napdr-cost-effectiveness.pdf>
- [14] EUROPEAN COMMISSION, ENERGY, “*Energy Efficiency Directive*”, [Web], <http://ec.europa.eu/energy/efficiency/eed/eed_en.htm>
- [15] FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION, “*Assessment of Demand Response and Advanced Metering*”, United States of America, Diciembre 2012. Disponible en: <http://www.ferc.gov/legal/staff-reports/12-20-12-demand-response.pdf>
- [16] FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION, “*Assessment of Demand Response and Advanced Metering*”, United States of America, Febrero 2011. Disponible en: <http://www.ferc.gov/legal/staff-reports/2010-dr-report.pdf>
- [17] U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, Independent Statistics and Analysis, [Web], <http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=electricity_use>
- [18] ESPAÑA, MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO, “*PROYECTO SECH-SPAHOUSEC: Análisis del consumo energético del sector residencial en España*”, IDAE Secretaría General Departamento de Planificación y Estudios, España, 16 de julio de 2011. Disponible en: http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf

- [19] PIKE RESEARCH, “*Smart Grid Consumer Survey*”, [S.L.], 2013
- [20] FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION, “*Assessment of Demand Response Potential*”, United States of America, Junio 2009. Disponible en: <http://www.ferc.gov/legal/staff-reports/06-09-demand-response.pdf>
- [21] STAR, Anthony; ISAACSON, Marjorie; KOTAWA, Larry, “*Evaluating Residential Real-Time Pricing: Connecting Customer Response to Energy Market Impacts*” CNT Energy, [s.l.]. Disponible en: http://www.elevateenergy.org/wp-content/uploads/2014/01/Evaluating_Residential_Real_Time_Pricing.pdf
- [22] O'DWYER, Ciara, “*Modelling Demand Response in the Residential Sector*” University College Dublin, Dublin, Agosto 2011. Disponible en: <http://erc.ucd.ie/files/theses/ME%20Ciara%20O'Dwyer%20-%20Modelling%20Demand%20Response%20in%20the%20Residential%20Sector.pdf>
- [23] FARUQUI, Ahmad (Ph.D), “*The Tao of The Smart Grid*”, Michigan Smart Grid Collaborative. United States of America (Michigan), Agosto 2011. Disponible en: http://www.brattle.com/system/publications/pdfs/000/004/477/original/The_Tao_of_the_Smart_Grid_Faruqui_Aug_24_2011.pdf?1378772108
- [24] DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA, “*Directiva 2009/72/CE Del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de Julio De 2009*”. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:211:0055:0093:ES:PDF>
- [25] VALVERDE SABORÍO, Allan Andrés. “*Estudio de pre-factibilidad para la implementación de una red eléctrica inteligente (“Smart Grid”) en la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (E.S.P.H. S.A)*”, Universidad de Costa Rica Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Eléctrica. Costa Rica, Julio 2012. Disponible en: http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb2012/pb2012_024.pdf
- [26] International Electrotechnical Commission, [Web] <<http://www.iec.ch/>>
- [27] NIST. “*NIST & the Smart Grid*” <<http://www.nist.gov/smartgrid/nistandsmartgrid.cfm>>
- [28] IEEE STANDARDS ASSOCIATION. “*IEEE 2030 Draft Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), and End-Use Applications and Loads*”. <http://grouper.ieee.org/groups/scc21/2030/2030_index.html>

- [29] FARUQUI, Ahmad; SERGICI, Sanem. *"HOUSEHOLD RESPONSE TO DYNAMIC PRICING OF ELECTRICITY—A SURVEY OF THE EXPERIMENTAL EVIDENCE"*. [S.L.], Febrero 2009. Disponible en: <http://www.hks.harvard.edu/hepg/Papers/2009/The%20Power%20of%20Experimentation%2001-11-09.pdf>
- [30] WICKER, Stephen; THOMAS, Robert. *"A Privacy-Aware Architecture for Demand Response Systems"* School of ECE, Cornell University, [S.L.]. Disponible en: http://wisl.ece.cornell.edu/wicker/SWicker_RThomas_HICSS.pdf
- [31] ZAHURUL HUQ, Md.; ISLAM, Syred; *"Home area network technology assessment for demand response in smart grid environment"*, [S.L.]. Disponible en: http://www.ann.ece.ufl.edu/courses/eel6935_11fal/papers/Home%20area%20network%20assessment.pdf
- [32] KAILAS, Aravind; CECCHI, Valentina; MUKHERJEE, Arindam. *"A Survey of Communications and Networking Technologies for Energy Management in Buildings and Home Automation"* Journal of Computer Networks and Communications Volume 2012 (2012), Article ID 932181, 12 pages. Disponible en: <http://www.hindawi.com/journals/jcnc/2012/932181/>
- [33] IP-Symcon: Ihre Lösung für ein smartes Zuhause, [Web], <<http://www.ip-symcon.de/>>
- [34] IP-Symcon: Documentación, [Web], <<http://www.ip-symcon.de/doc/IP-Symcon-Dokumentation-3.1.pdf>>
- [35] IP-Symcon: Foro, [Web], <<http://www.ip-symcon.de/forum/>>
- [36] DOMÉNECH ASENSI, Ginés; GARCÍA-BRAVO GARCÍA, José; ZAPATA PÉREZ, Juan, *"Redes de Comunicaciones Industriales"*.
- [37] MCPARLAND, Charles. *"Home Network Technologies and Automating Demand Response"* Environmental Energy Technologies Division. United States of America, Diciembre 2008. Disponible en: <http://drcc.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-3093e.pdf>
- [38] Wave Alliance, [Web], <<http://www.z-wavealliance.org>>
- [39] GARCÍA LOPEZ, CARLOS. *"Desarrollo de un sistema de control domótico con tecnologías sin hilos autoalimentadas"*, Universidad Politécnica de Cataluña. España (Barcelona). Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/14107/1/78926.pdf>
- [40] IEEE, [Web], <<http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/TG4.html>>

- [41] Zigbee Alliance, [Web], <<http://zigbee.org>>
- [42] C. CRAIG, William. “Wireless Control That Simply Works”, ZMD America, Inc. United States of America. Disponible en: <https://docs.zigbee.org/zigbee-docs/dcn/04-1427.pdf>
- [43] KINNEY, Patrick, “ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works”. Disponible en: http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=51627
- [44] EnOcean Alliance, [Web], <<http://www.enocean-alliance.org/>>
- [45] ENOCEAN, “EnOcean Radio Protocol 2”. Septiembre 2013. Disponible en: <http://www.enocean.com/erp2/>
- [46] EnOcean Alliance, “EnOcean Technology – Energy Harvesting Wireless”, <http://www.enocean.com/fileadmin/redaktion/pdf/white_paper/WP_EnOcean_Technology_en_Jul11.pdf>
- [47] SMARTLABS, [Web], <<http://www.smartlabsinc.com/>>
- [48] INSTEON, “Whitepaper: Compared”. Disponible en: <http://www.insteon.com/pdf/insteoncompared.pdf>
- [49] Wifi Alliance, [Web], <<http://www.wi-fi.org/>>
- [50] JIN-SHYAN LEE; YU-WEI SU; CHUNG-CHOU SHEN, “A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee and Wi-Fi”. Disponible en: http://eee.guc.edu.eg/Announcements/Comparaitive_Wireless_Standards.pdf
- [51] GÓMEZ, Carles; OLLER, Joaquim; PARADELLS, Josep. “Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology” ISSN 1424-8220, España (Cataluña), Agosto 2012. Disponible en: <http://www.mdpi.com/1424-8220/12/9/11734/pdf>
- [52] BLUEGIGA TECHNOLOGIES, “Bluetooth Smart: Getting Started”, [S.L.], Octubre 2012. Disponible en: <http://www.farnell.com/datasheets/1691422.pdf>
- [53] BLUETOOTH DEVELOPER PORTAL, [Web], <<https://developer.bluetooth.org/DevelopmentResources/Pages/Bluetooth-Smart-Optimizations.aspx>>

- [54] VOLT CRAFT, Catálogo DPM 3L85-D. Disponible en: <http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/125000-149999/125254-an-01-ml-VOLT CRAFT DPM 3L85 D DREHSTROMZAEH de en.pdf>
- [55] AEONOR. *“Instalaciones Eléctricas en Edificios. Parte 5: Selección e instalación de los materiales eléctricos. Sección 523: Instalaciones admisibles en los sistemas de conducción de cables”*. UNE-20460-5-523. Noviembre 2014.
- [56] ESPAÑA, MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO, *“GUÍA TÉCNICA DE LA APLICACIÓN: INSTALACIONES INTERIORES”*, España, Febrero 2009.
- [57] FINDER, Catálogo 7ESeries-Energy Meter. Disponible en: http://www.datasheetlib.com/datasheet/1154663/7e.13.8.230.0000_finder.html
- [58] ARDUINO, [Web], <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>>
- [59] TEXAS INSTRUMENTS, *“LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors”*, United States of America (Texas), Mayo 1999.
- [60] DIGI, [Web], <<http://www.digi.com/>>
- [61] DIGI, *“XBee/XBee-PRO ZB RF Modules”*. Disponible en: http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_T.pdf
- [62] VOLT CRAFT, Catálogo medidor monofásico 32 A DPM 1L 32-D. Disponible en: <http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/500000-524999/516711-an-01-ml-VOLT CRAFT DPM1L32 D WECHSELSTROMZA de en.pdf>
- [63] AEOTEC: By AEON Labs, [Web],< <http://aeotec.com/>>
- [64] AEOTEC: By AEON Labs, *“Home Energy Meter 2E manual”*. Disponible en: <http://aeotec.com/z-wave-home-energy-measure/135-home-energy-meter-manual-instructions.html>
- [65] AEOTEC: By AEON Labs, [Web], <<http://aeotec.com/z-wave-usb-stick>>
- [66] AEOTEC: By AEON Labs, *“Z-Stick S2 & Z-Stick Lite drivers”*, <<http://aeotec.com/z-wave-usb-stick/1358-z-wave-drivers.html>>

- [67] AEOTEC: By AEON Labs, "*Z-Stick 2E manual*", <<http://aeotec.com/z-wave-usb-stick/913-z-stick-manual-instructions.html>>
- [68] EUROPEAN COMMISSION: EUROSTAT, [Web], <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>>
- [69] ESPAÑA, MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, [Web], <<http://www.idae.es/>>
- [70] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. "*Proyecto INDEL: Atlas de la Demanda Energética Española*", Programa de Investigación y Desarrollo Electrotécnico, España. Disponible en: http://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/atlas_indel_ree.pdf
- [71] VOLTcraft, Manual Energy Logger 4000. Disponible en: http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/125000-149999/125444-an-01-ml-VOLTcraft_ENERGY_LOGGER_4000EKM_de_en_nl.pdf
- [72] M. IZQUIERDO, et al. "*Air conditioning in the region of Madrid, Spain: An approach to electricity consumption, economics and CO2 emissions*". Disponible en: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13301/air_izquierdo_E_2011_ps.pdf?sequence=1
- [73] ROSENFELD, Arthur. "*Energy Efficiency: Potential Energy and Dollar Savings and Delivery Strategies*". Disponible en: http://www.energy.ca.gov/papers/2003-12-15_ROSENFELD.PPT
- [74] GABALDÓN, Antonio, et al. "*Disaggregation of the electric loads of small customers through the application of the Hilbert transform*". Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.1007/s12053-013-9250-6/fulltext.html>
- [75] CLARK W. GELLINGS. "*The Concept of Demand-Side Management for Electric Utilities*".
- [76] CONTRONICS AUTOMATIONS SYSTEM, [Web], <<http://www.contronics.de/home.html>>
- [77] ELV: Kompetent in Elektronik, [Web], <<http://www.elv.de/>>
- [78] ELV, "*PC-Funk-Interface FHZ 1300 PC*", Alemania, Agosto 2005.
- [79] ELV, "*Funk-Schaltsteckdose FS20 ST-4*", Alemania, Enero 2014.
- [80] ELV, "*Funk-Dimmer FS20 DI-5*", Alemania, Abril 2012.

[81] SMARTREGIONS, “Best Practices of Smart Metering Based End-User Services”. Disponible en: <http://www.smartregions.net/GetItem.asp?item=digistorefile;357252;1761¶ms=open;gallery&sivuID=27940>

[82] ESPAÑA. Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo, por el que se establece la metodología de cálculo de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica y su régimen jurídico de contratación. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de marzo de 2014, núm. 77, pp. 27397 a 27428. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2014/03/29/pdfs/BOE-A-2014-3376.pdf>

[83] ESPAÑA. MINISTERIO DE ECONOMÍA, Real Decreto 1164/2001, de 26 de octubre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica. *Boletín Oficial del Estado*, 8 de noviembre de 2001, núm. 268, pp. 40618 a 40629. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2001/11/08/pdfs/A40618-40629.pdf>

[84] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, “*Término de facturación de energía activa del PVPC*” <<http://www.esios.ree.es/web-publica/pvpc/>>

[85] OMIE, [Web] <<http://www.omie.es/inicio>>

[86] PHPEXCEL, [Web], <<https://phpexcel.codeplex.com/>>

[87] WELMEC: Cooperación europea en metrología legal, “*Guía sobre mediciones de consumos que dependen del tiempo a efectos de facturación (medición en intervalos)*”, [S.L.], mayo 2010. Disponible en: http://www.welmec.org/fileadmin/user_files/publications/WG_11/WELMEC_Guide_11.2_issue_1_-_ES.pdf

[88] AEMET, [Web], <<http://www.aemet.es/>>

[89] ESPAÑA. MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. BOE 27 de septiembre de 2006. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2006/09/27/pdfs/A33821-33821.pdf>

[90] HIGHCHARTS, [Web], <<http://www.highcharts.com/>>

[91] APACHE, [Web], <<http://www.apache.org/>>

[92] LIBERÍAS PHP, [Web], <<http://windows.php.net/download/>>

[93] NO-IP, [Web], <http://www.noip.com/>

[94] ANDREAS VEIT, et al. “*Household Electricity Demand Forecasting- Benchmarking State-of-the-Art Method*”. Disponible en: <http://arxiv.org/pdf/1404.0200v1.pdf>

[95] M. LÓPEZ, et al. “*Application of SOM neural networks to short-term load forecasting: The Spanish electricity market case study*”. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779612001095>