

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XVII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XXI</b>
<b>RESUM.....</b>	<b>XXV</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Estructura de la tesis.....	4
<b>CAPÍTULO 2. Estado del arte: las smart grids y la respuesta de la demanda .....</b>	<b>9</b>
2.1. Introducción .....	9
2.2. Situación actual de las smart grids.....	9
2.2.1. Objetivos de la smart grid .....	10
2.2.2. Beneficios de la smart grid.....	11
2.2.3. Las microrredes .....	13
2.2.4. Los medidores inteligentes .....	14
2.2.5. Desafíos por resolver .....	14
2.3. Situación actual de la respuesta de la demanda.....	15
2.3.1. Respuesta de la demanda en Estados Unidos .....	18
2.3.1.1. Programas de respuesta de la demanda ofrecidos por los operadores de sistemas .....	18
2.3.1.2. Programas de respuesta de la demanda ofrecidos por las compañías	20
2.3.2. Respuesta de la demanda en Europa.....	21
2.3.2.1. Francia.....	21
2.3.2.2. Noruega.....	22
2.3.2.3. Reino Unido .....	22
2.3.2.4. Italia .....	23
2.3.2.5. España .....	23
2.4. Modelos de consumo .....	23
2.4.1. Proyecto EU-DEEP .....	25
2.4.2. Segmentación de la demanda .....	27
2.4.2.1. Sectores comercial e industrial.....	28
2.4.2.2. Sector residencial .....	28
2.4.3. Modelado de segmentos.....	29
2.4.4. Aplicación y resultados a los sectores residencial y comercial .....	29
2.4.5. Aplicación y resultados al sector industrial.....	30
2.5. Conclusiones del capítulo .....	31

<b>CAPÍTULO 3. Smart grids .....</b>	<b>33</b>
3.1. Introducción .....	33
3.2. Concepto de smart grids .....	34
3.2.1. Topología y aspectos morfológicos.....	35
3.2.1.1. Componente de interfaz de dispositivos inteligentes .....	35
3.2.1.2. Componente de almacenamiento .....	35
3.2.1.3. Componente del subsistema de transporte .....	36
3.2.1.4. Componente de la tecnología de monitorización y control .....	36
3.2.1.5. Componente del subsistema de distribución de la red inteligente .....	36
3.2.1.6. Componente de la gestión de la demanda .....	37
3.2.2. Control y protección .....	37
3.2.2.1. Ensayos de cambios en la tensión de suministro .....	39
3.2.2.2. Ensayos de cambios en la tensión debidos a modificaciones en la carga .....	40
3.2.2.3. Ensayos de distorsión armónica .....	42
3.2.2.4. Ensayos de frecuencia .....	44
3.2.2.5. Ensayos de ruido .....	46
3.2.2.6. Ensayos de transitorios .....	50
3.2.2.7. Conclusiones de los ensayos .....	53
3.2.3. Calidad de la energía .....	53
3.3. Propuesta de sistema y metodología de control .....	54
3.3.1. Smart grid en el LabDER de la UPV .....	55
3.3.1.1. Generador solar fotovoltaico.....	56
3.3.1.2. Generador eólico .....	56
3.3.1.3. Gasificador de biomasa y grupo electrógeno .....	58
3.3.1.4. Banco de baterías.....	59
3.3.1.5. Otros equipos .....	60
3.3.2. Esquema del sistema de gestión desarrollado.....	61
3.3.3. Software de control de la microrred desarrollado.....	61
3.3.4. Panel principal .....	62
3.3.5. Panel de planificaciones .....	63
3.3.6. Experiencias de control realizadas .....	64
3.4. Conclusiones del capítulo .....	65
<b>CAPÍTULO 4. Eficiencia y gestión en edificios .....</b>	<b>67</b>
4.1. Introducción .....	67
4.2. Eficiencia, gestión y respuesta de la demanda .....	68
4.2.1. Medidas de eficiencia y gestión .....	69
4.2.2. Ejemplos de medidas de eficiencia y gestión.....	69
4.2.3. Análisis de las medidas de eficiencia y gestión .....	69
4.2.4. Clasificación de procesos para las acciones de eficiencia y gestión .....	71
4.2.5. Listado de los principales elementos de mejora .....	73
4.2.6. Clasificación de las medidas de ahorro .....	74
4.2.7. Recopilación de medidas de ahorro.....	77
4.3. La gestión y la respuesta de la demanda.....	77
4.4. Eficiencia en edificios.....	78

4.5. Gestión en edificios.....	79
4.6. Respuesta de la demanda en edificios .....	79
4.7. Caso práctico: Acciones de ahorro energético en algunos edificios de la Universitat Politècnica de València.....	80
4.7.1. Introducción .....	80
4.7.2. Descripción de las acciones.....	81
4.7.2.1. Tarifa del consumo eléctrico en la UPV.....	82
4.7.3. 8G - Ciudad Politècnica de la Innovación .....	82
4.7.4. 4P - ETS de Ingenieros de Telecomunicación.....	85
4.7.5. 8I-8J - Invernaderos.....	89
4.7.6. Discusión de los resultados .....	91
4.7.7. Conclusiones de este caso práctico.....	92
4.8. La importancia de la fase de diseño de los edificios .....	92
4.8.1. Edificio Solar XXI en Lisboa.....	93
4.8.1.1. Aspectos aprendidos del edificio Solar XXI .....	93
4.8.2. Edificio Rijkswaterstaat en los Países Bajos.....	94
4.8.2.1. Aspectos aprendidos del edificio Rijkswaterstaat .....	94
4.9. Conclusiones del capítulo .....	95

## **CAPÍTULO 5. Medida y verificación de ahorros energéticos .....97**

5.1. Introducción .....	97
5.2. Comparación de los principales protocolos existentes.....	98
5.2.1. IPMVP volumen I .....	99
5.2.2. FEMP M&V guidelines versión 3.0.....	101
5.2.3. ASHRAE GUIDELINE 14.....	102
5.2.4. Australia BPG-M&V .....	103
5.3. IPMVP.....	104
5.3.1. Estructura del documento .....	105
5.3.2. Aplicación del IPMVP.....	106
5.3.3. Selección de opciones de M&V .....	108
5.3.4. Plan de medida y verificación .....	113
5.4. Protocolo de medida y verificación de la respuesta de la demanda .....	114
5.5. Certificación en la respuesta de la demanda .....	116
5.5.1. Definición de certificación .....	116
5.5.2. Beneficios de la certificación.....	117
5.5.3. Agentes involucrados.....	117
5.5.4. Certificación del proveedor de la respuesta de la demanda .....	118
5.5.4.1. Ensayos necesarios para la certificación del proveedor de la respuesta de la demanda.....	119
5.5.5. Certificación del comercializador de los servicios energéticos.....	120
5.6. Caso práctico: respuesta de la demanda en la Universitat Politècnica de València	121
5.6.1. Corte de potencia del sábado 20/02/2010 .....	123
5.6.2. Corte de potencia del viernes 26/02/2010 .....	125
5.6.3. Corte de potencia del martes 09/03/2010 .....	127
5.6.4. Corte de potencia del miércoles 31/03/2010.....	129
5.6.5. Conclusiones del caso práctico.....	131

5.7. Propuesta de un método estadístico para el cálculo de la baseline para respuesta de la demanda .....	131
5.8. Conclusiones del capítulo .....	135
<b>CAPÍTULO 6. Predicción de consumo .....</b>	<b>137</b>
6.1. Introducción .....	137
6.2. Método EUs .....	138
6.2.1. Introducción y justificación .....	138
6.2.2. Algoritmo de previsión de consumo .....	139
6.2.2.1. Proceso de selección de días de entrenamiento .....	141
6.2.2.2. Arquitectura de las redes neuronales .....	143
6.2.2.3. Entrenamiento, test y validación de las redes neuronales .....	144
6.2.3. Resultados y conclusiones.....	144
6.3. Método TEUs .....	146
6.3.1. Introducción y justificación .....	147
6.3.2. Modelo de previsión de la curva de temperatura .....	148
6.3.3. Algoritmo de previsión de consumo .....	154
6.3.3.1. Proceso de selección de días de entrenamiento .....	155
6.3.3.2. Arquitectura de las redes neuronales .....	156
6.3.3.3. Entrenamiento, test y validación de las redes neuronales .....	157
6.3.4. Resultados y conclusiones.....	158
6.4. Conclusiones del capítulo .....	161
<b>CAPÍTULO 7. Desagregado y previsión de usos finales</b>	<b>165</b>
7.1. Introducción .....	165
7.2. Estudio de la laboralidad en la UPV.....	166
7.3. Desagregado de usos finales en la UPV.....	168
7.3.1. Uso final Máquinas Partidas (SS) .....	170
7.3.2. Uso final Bombas de Calor (HP) .....	171
7.3.3. Uso final Solo Frío (OC).....	173
7.3.4. Uso final Solo Calor (OH).....	174
7.3.5. Uso final Alumbrado Público (PL) .....	175
7.3.6. Uso final Alumbrado Interior (IL) .....	175
7.3.7. Uso final Consumo de Fuerza (GA) .....	176
7.3.8. Ponderación de los criterios de selección para cada uso final y el consumo total .....	177
7.4. Metodología de previsión de consumo aplicada en la UPV .....	179
7.4.1. Proceso de previsión del consumo de los usos finales en la UPV.....	181
7.4.2. Proceso de previsión del consumo total en la UPV .....	182
7.4.3. Resultados de previsión del consumo de los usos finales .....	184
7.4.4. Discusión de los resultados de este método de previsión de consumo .....	189
7.5. Conclusiones del capítulo .....	189
<b>CAPÍTULO 8. Sistemas de Gestión Energética para Smart Customers</b>	<b>191</b>
8.1. Introducción .....	191
8.2. Sistema de gestión energética de la Universitat Politècnica de València: DERS	192

8.2.1. Sistemas de medida de la UPV .....	193
8.2.1.1. Equipo de medida de la compañía comercializadora .....	193
8.2.1.2. Equipo de medida del sistema DERD.....	195
8.2.1.3. Sensores de temperatura .....	197
8.2.1.4. Sensor de luz Hagner.....	198
8.2.2. Detalle del sistema de maniobra y medida .....	199
8.2.3. Beneficios del DERD en la Universitat Politècnica de València.....	200
8.2.4. Ahorros obtenidos gracias al sistema DERD .....	203
8.3. Control de recursos en una smart grid.....	206
8.3.1. Descripción de la metodología.....	207
8.3.2. Objetivos e hipótesis iniciales .....	209
8.3.3. Descripción de la herramienta .....	211
8.3.4. Descripción de los escenarios .....	215
8.3.5. Algoritmo de optimización propuesto.....	216
8.3.6. Análisis de los resultados de las simulaciones y conclusiones.....	218
8.3.6.1. Escenario A1 .....	218
8.3.6.2. Escenario B1 .....	219
8.3.6.3. Escenario C1 .....	220
8.3.6.4. Escenario D1 .....	222
8.3.6.5. Escenario A2 .....	223
8.3.6.6. Escenario B2 .....	224
8.3.6.7. Escenario C2.....	226
8.3.6.8. Escenario D2.....	227
8.3.6.9. Comparación de las simulaciones y conclusiones.....	228
8.4. Metodología de gestión para la participación en la respuesta de la demanda.....	229
8.5. Conclusiones del capítulo .....	231
<b>CAPÍTULO 9. Conclusiones .....</b>	<b>233</b>
9.1. Conclusiones y contribuciones de la tesis.....	233
9.2. Líneas futuras de investigación.....	237
<b>CHAPTER 9. Conclusions .....</b>	<b>239</b>
9.1. Conclusions and contributions of this dissertation .....	239
9.2. Future research lines .....	243
<b>LISTA DE REFERENCIAS .....</b>	<b>245</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>255</b>
Apéndice 1. Listado abreviaturas.....	255
Apéndice 2. Listado clasificado de acciones de eficiencia y gestión energética. ....	259
Apéndice 3. Tabla de afinidad laboral del método TEUs aplicado al Campus de Vera de la UPV.....	291
<b>PUBLICACIONES.....</b>	<b>301</b>
<b>SOBRE EL AUTOR .....</b>	<b>303</b>